



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA ROTAČNÍ NÁDOBY

PRODUCTION OF A ROTATING VESSEL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Václav Novák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Michaela Císařová, Ph.D.

BRNO 2021

Zadaní bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Václav Novák**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Michaela Císařová, Ph.D.**
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Výroba rotační nádoby

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh výroby nádoby, která je součástí přístroje na výrobu cukrové vaty. Nádoba je určena pro potravinářský průmysl, rotačního tvaru a bude zhotovena technologií plošným tvářením. Na tuto problematiku bude zaměřena literární studie.

Cíle bakalářské práce:

Provést srovnání možných způsobů výroby se zhodnocením jejich vhodnosti a nevhodnosti.
Vypracovat aktuální literární studii zvolené technologie.
Zpracovat návrh výroby doložený nezbytnými technologickými a kontrolními výpočty.
Navrhnout a popsat tvářecí nástroj.
Zhotovit výkres nástroje s vyhotovením výkresů vybraných dílů.

Seznam doporučené literatury:

TSCHATSCH, Heinz. Metal forming practise: processes - machines - tools. New York: Springer-Verlag, 2006. ISBN 35-403-3216-2.

BOLJANOVIC, Vukota. Sheet metal forming processes and die design. New York: Industrial Press, 2004. ISBN 08-311-3182-9.

TIŠNOVSKÝ, Miroslav a Luděk MÁDLE. Hluboké tažení plechu na lisech. 1. vyd. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1990. Knižnice technických aktualit. ISBN 80-030-0221-4.

LIDMILA, Zdeněk. Teorie a technologie tváření. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 978-80-72-1-579-6.

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.

FOREJT, Milan. Teorie tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Rekrorát Vysokého učení technického v Brně, 1991. 187 s. ISBN 80-214-0294-6.

HOSFORD, William F. a Robert M. CADDEL. Metal Forming: Mechanics and Metalurgy. 3th ed. NewYork: Cambridge University Press, 2007. 365 s. ISBN 978-0-521-88121-0.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

NOVÁK Václav: Výroba rotační nádoby

Práce se zabývá návrhem výroby nádoby, která je součástí přístroje na výrobu cukrové vaty. Jedná se o válcovou součást s dírou ve dně, vyrobeného z nerezové austenitické chrom-niklové oceli 1.4301 tloušťky 1,5 mm. Vzhledem k sérii 50 000 kusů ročně, byla zvolena technologie tažení bez ztenčení stěny. Tažení se uskuteční v jedné operaci. Vzhledem k vypočtené síle byl pro nástroj určen hydraulický lis ZHS 400 o jmenovité síle 4 000 kN.

Klíčová slova: hluboké tažení, rotační nádoba, výtažek, hydraulický lis, ocel 1.4301

ABSTRACT

NOVÁK Václav: Production of a rotating vessel

The thesis is concerned with the concept of an rotating vessel, that is a part of cotton candy machine. A drawing is cylindrical shape with circular a hole in the bottom, which is made of austenitic chrome-nickel steel 1.4301 with the thickness 1,5 mm. Due to the production volume 50 000 units per year, the pulling technology without wall thinning was choosen. The process of drawing will be performer in one operation. Due to calculated force, the ZHS 400 hydraulic press with a nominal force of 4 000 kN was chosen.

Keywords: deep drawing, rotating vessel, drawing, hydraulic press, steel 1.4301

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

NOVÁK, Václav. *Výroba rotační nádoby* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-02-11]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132769>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Michaela Císařová.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou ročníkovou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

V dne 28.3.2021

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji paní Ing. Michaelle Císařové, Ph.D. za velmi cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval své rodině a blízkým za podporu.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD 9

1 ROZBOR SOUČÁSTI 10

1.1 Varianty výroby 11

2 TECHNOLOGIE TAŽENÍ 13

2.1 Velikost přístřihu 13

2.2 Počet tažných operací 15

2.3 Tažná mezera 17

2.4 Volba přidržovače 18

2.5 Výpočet síly a práce 19

2.6 Tažné nástroje a jejich konstrukce 20

2.6.1 Tažnice 21

2.6.2 Tažníky 23

2.6.3 Přidržovače 24

2.7 Stroje 24

2.8 Maziva pro tažení 26

2.9 Technologičnost 26

3 NÁVRH VÝROBY 27

3.1 Velikost přístřihu 27

3.2 Nástřihový plán 29

3.3 Technologické výpočty tažení 32

3.4 Návrh nástroje 34

3.5 Volba stroje 35

4 ZÁVĚRY 36

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam příloh

Seznam výkresů

ÚVOD [5], [10], [18], [23]

V současné moderní době jsou kladeny vysoké nároky na rozsáhlé spektrum různých součástek. Z tohoto důvodu v současném strojírenství existuje nespočet výrobních technologií. Tváření kovů se vyvíjí už od doby bronzové a patří mezi jedno z nejstarších a nejefektivnějších procesů ve strojírenské technologii.

Technologii tváření, jakožto jednu z nejpoužívanějších výrobních metod, lze formulovat jako technologii, při níž dochází ke změně tvaru materiálu bez jeho porušení. Tvářecí technologie výroby jsou velice efektivní, v automatizované výrobě mají vysokou produktivitu, proto se nejčastěji používají v sériové a hromadné výrobě. Nevýhodou tváření jsou vysoké pořizovací ceny strojů a nástrojů a určitá rozměrová omezenost vyráběných dílců. Tváření se dělí na objemové a plošné. U objemového tváření dochází k deformaci polotovaru ve třech směrech a spadají do něj metody např. protlačování, kování, pěchování, válcování. Během plošného tváření převládá dvouosá deformace. Mezi plošné tváření patří tažení, stříhání a ohýbání.

Technologie tažení se používá pro výrobu dutých součástí, od rotačních nádob, víček, různých nábojů, krytů až po rozmanité nesymetrické součástky. Ukázky produktů vyráběných tažením jsou na obrázku 1.



Obr. 1 Příklady součástí vyrobených technologií tažení [23]

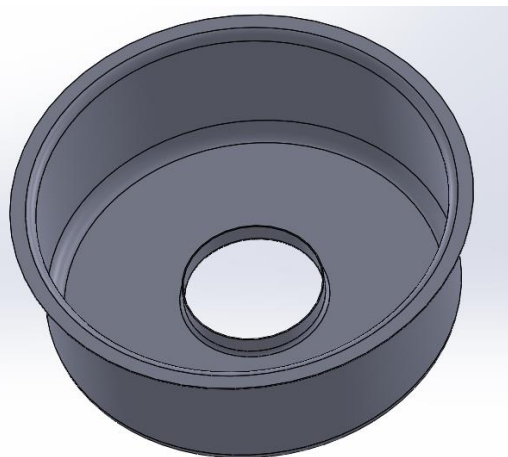
1 ROZBOR SOUČÁSTI [4], [24]

Vyráběná součást bude sloužit jako zachytávací nádoba stroje na výrobu cukrové vaty (obr. 2). Jedná se o rotační součástku (obr. 3) s průměrem 520 mm válcového tvaru s přírubou, o průměru 580 mm. Tloušťka nádoby bude v celém tvaru stejná 1,5 mm. Zaoblení přechodu stěny do příruby je 12 mm a přechod stěny a dna je 20 mm. Střed dna je opatřen dírou o průměru 175 mm. Kompletní výkres součástky je zobrazen na obr. 4. Přišroubované tvarované plechy po obvodu hlavice stroje se opírají o stěnu této díry. Po obvodu nádoby je vytvořen lem, který vytváří dosedací plochu pro ochranný kryt a usnadňuje jeho instalaci. Nádoba je ustavena na gumových nohách, které zajišťují potřebnou stabilitu.

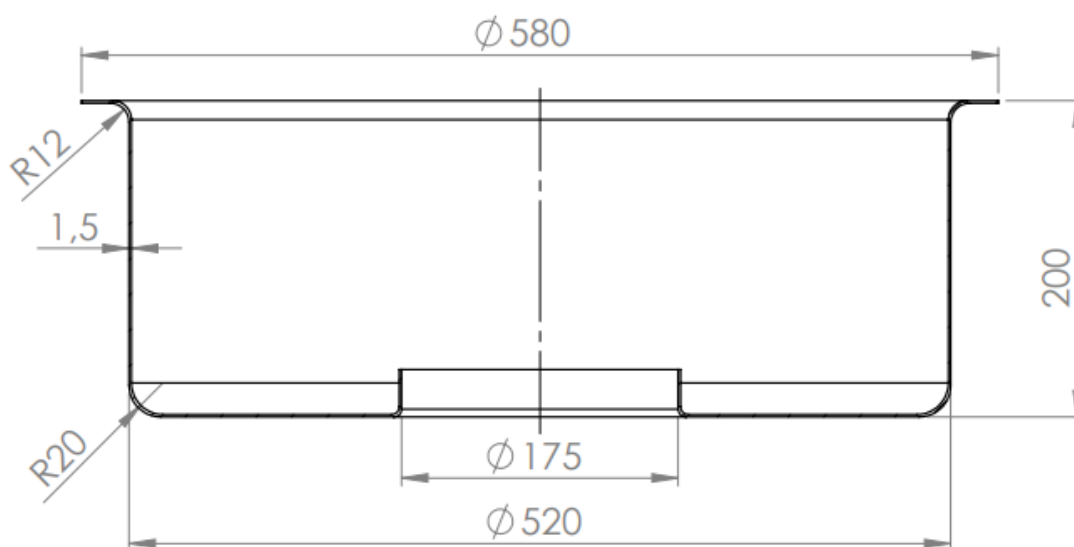
Součást nebude nijak zvlášť mechanicky namáhána, proto nejsou kladeny vysoké nároky na vlastnosti materiálu. Ani z hlediska výrobních tolerancí není kladen zvláštní důraz. Nádoba je určena pro užití pro výrobu potravin, takže je zdůraznit nezávadnost materiálu a jeho vhodnost pro potravinářský průmysl. Dále je třeba uvažovat možnou povrchovou úpravu vyrobené nádoby. K těmto skutečnostem bude přihlédnuto při volbě materiálu. Předpokládaná výrobní série je 50 000 kusů za rok.



Obr. 2 Stroj na výrobu cukrové vaty [24]



Obr. 3 Model součásti



Obr. 4 Výkres součásti

1.1 Varianty výroby [3], [16], [25], [27]

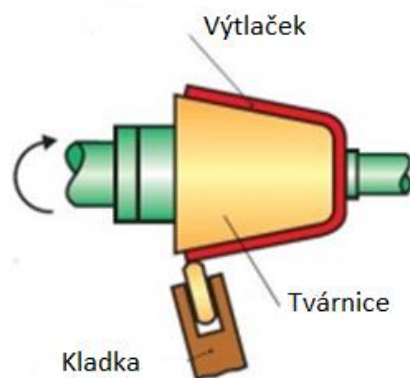
Pro zvolení nejvhodnější metody výroby nádoby je nutné zohlednit ekonomickou stránku výroby, konstrukční požadavky součástí, zejména jakost povrchu, rozměrová přesnost a mechanická odolnost. Nádoba bude vyráběna na dvě operace.

V první operaci je potřeba získat polotovar ze svitku plechu nebo pásu z plechové tabule. Kruhový přístřih je možné získat metodami vysekáváním, konvenčním stříháním, dělením laserem, vodním paprskem, plazmou nebo kotoučovými nůžkami.

Vzhledem k tomu, že na nádobu nejsou kladeny vysoké nároky na přesnost a s uvažovaným objemem série 50 000 ks/rok nejvhodnější metodou pro dělení materiálu je stříhání. Výroba konvenčního nástroje je ekonomicky náročná, následné výrobní náklady jsou nízké. Opotřebení na střižníku a střižnici bude nízké, a po větším opotřebení může být daná část přebroušena pro další využití, nebo úplně vyměněna.

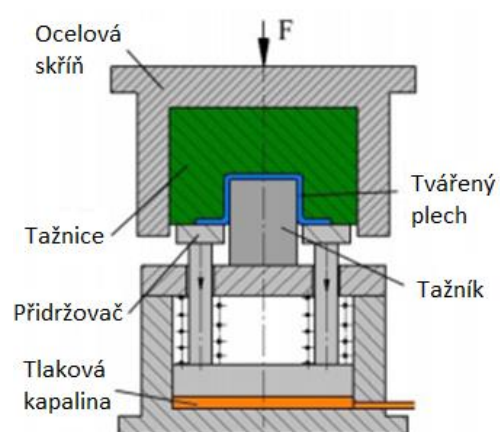
V druhé operaci je cílem dosáhnout výsledného tvaru nádoby. Nádoba bude vyráběna některou z technologií plošného tváření, která bude ekonomicky a technicky nejvýhodnější. Vzhledem ke konstantní tloušťce nádoby, nepřípadají v úvahu způsoby výroby se ztenčením stěny.

- Kovotlačení – je to proces, pomocí kterého lze vytvářet pouze rotační vyduuté součásti. Kovotlačení je naznačeno na obr. 5. Polotovar kruhového průřezu, který je na čele upnut pomocí příložky a následně natlačován buď ručním vedením (paličky) nebo pomocí stroje (kladky) ke kovové rotující formě. K tvarování dochází jen v místě působení tlačného nástroje. V daném případě, kdy je konstantní tloušťka stěny, kladka jede kolmo na obrys formy a materiál pouze přibývá. Kvůli nízké produktivitě je tato metoda vhodná pro kusovou a malosériovou výrobu. Pro větší série by bylo zapotřebí drahého automatizovaného kovotlačicího stroje. Mezi nevýhody se řadí špatná jakost povrchu s nutností kalibrace a možnost vyrábět pouze rotační výtažky. Vzhledem k objemu výrobní série není tento způsob vhodný a tudíž nebude pro výrobu využit.



Obr. 5 Princip kovotlačení [25]

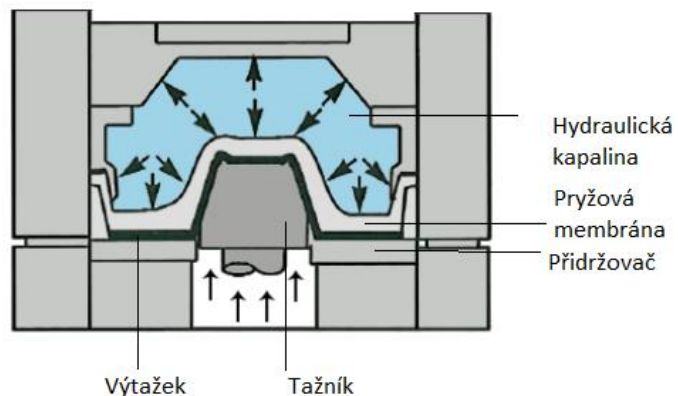
- Marform – nekonvenční metoda tváření (obr. 6). Principem metody je použití elastomerových desek, které zastupují pohyblivou část nástroje-tažnici. Desky jsou uloženy v ocelové skříni. Tlak se zde stejnoměrně rozděluje na celý povrch výtažku. Polotovar je umístěn mezi přidržovač a elastomer. Skříň je tlačena proti nepohyblivému kovovému tažníku, čímž je plech vtlačován do elastomeru. Po dokončení se zvedne skříň s elastomerem, tím se uvolní tlak působící na přidržovač a součást. Nutnost překonání sil na přetvoření nejen součástí, ale i



Obr. 6 Metoda Marform [25]

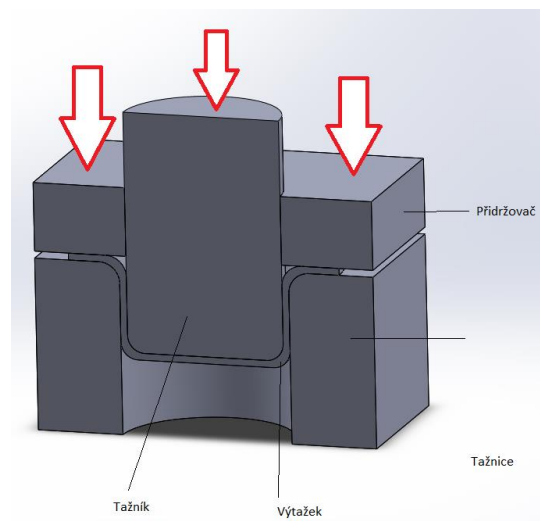
elastického média klade metoda Marform vyšší požadavky na sílu lisu. Výhodou je, že pryž nezanechávána povrchu žádné stopy, není potřeba použít mazivo a jedná se o jednoduchý a levný nástroj. Tváření pryží není vhodná technologie pro výrobu dané součásti vzhledem k velikosti série a hloubce vyráběné součásti.

- Hydroform – tažení kapalinou, při kterém se jako nástroje využívá kapaliny v nádobě, která je utěsněna pryžovou membránou (obr. 7). Díky kapalině je tlak rovnoměrně rozložen. Tlak je regulován pomocí ventilu. Materiál je pomocí hydrostatického tlaku a tažníku vytvarován do požadovaného tvaru. Výhodou je možnost tažení složitých a přesných součástí, regulace tlaku. Díky rovnoměrně rozloženému tlaku lze získat hladké, nezvrásněné povrchy, není třeba použít mazivo. Jako nevýhody lze uvažovat finanční náročnost z důvodů složitých hydraulických zařízení, s tím je spojeno nelehké těsnění kapaliny a lze touto technologií zpracovávat materiály, které nereagují s kapalinou. Pro výrobu zadané součásti je tato metoda vhodná, ale pořizovací cena stroje je příliš vysoká.



Obr. 7 Metoda Hydroform [27]

- Konvenční tažení – běžně nejpoužívanější metoda, při které dochází k tvárné deformaci pomocí kovového tažného nástroje v jedné nebo více operacích. Tažník vtahuje přístřih do tažnice a tím dochází ke vzniku žádoucího tvaru výtažku. Při tažení plechů s většími tloušťkami může docházet k zvlňování materiálu v oblasti příruby. Tento problém lze odstranit použitím přidržovače. Součástí nástroje může být přidržovač, který zabraňuje tvorbě vln. Tažné nástroje jsou konstrukčně náročné, ale mají velkou trvanlivost. Metoda je vyobrazena na obr. 8.

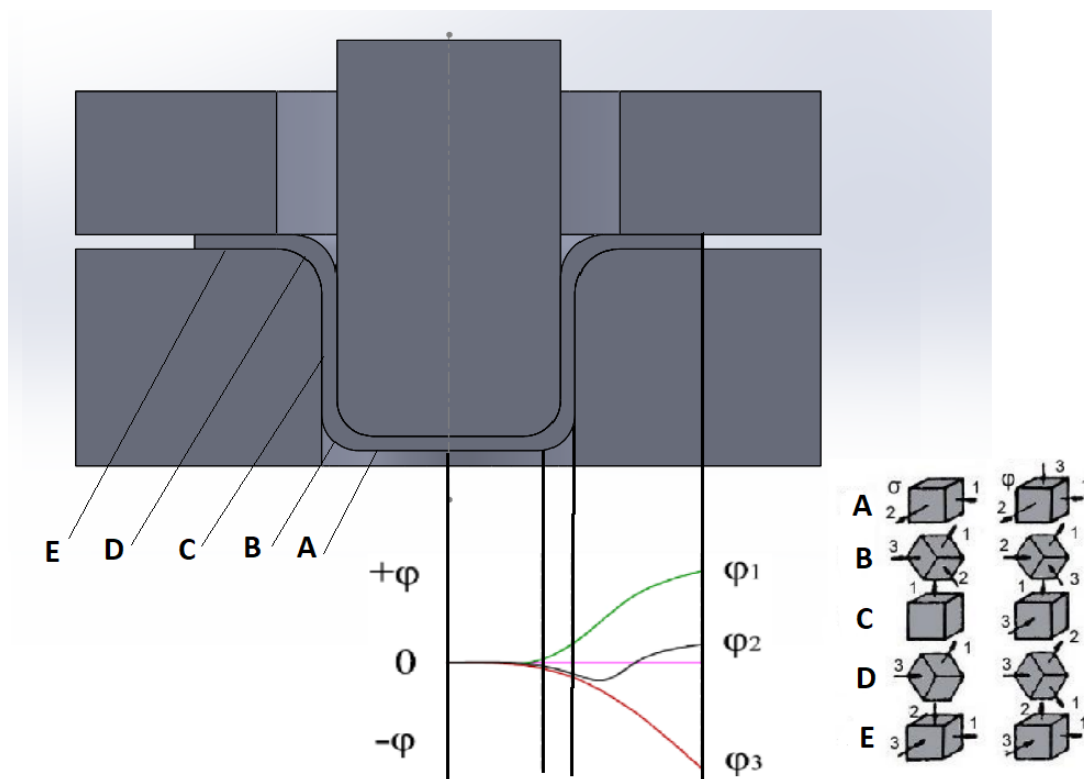


Obr. 8 Konvenční tažení [16]

Z výše uvedených možných technologií přípravy rondelů a výroby vychází, že v první operaci je nejvýhodnější varianta výroby přístřihu na střižném nástroji. V druhém kroku byla zvolena metoda výroby nádoby konvenční způsob tažení bez ztenčení stěny. A to na základě tvaru součásti, ekonomických důvodů a velikosti série. Následující literární studie a návrh výroby se bude zabývat touto technologií.

2 TECHNOLOGIE TAŽENÍ [3], [7], [8], [12]

Tažením se v oboru strojírenské technologie rozumí trvalé přetvoření rovinného polotovaru. Tažením se vyrábějí mělké i hluboké výtažky libovolných tvarů (s přírubou, bez příruby, rotační, nerotační a další nepravidelné tvary). Počet operací, kterých je zapotřebí k vyrobení daného dílu je závislý zejména na složitosti a rozmanitosti výtažku. Přístřih je za pomoci tažníku vtahován do dutiny tažnice, tímto způsobem dochází ke změně tvaru polotovaru v požadovaný výtažek. U tažení bez ztenčení stěny musí být mezi tažníkem a tažnicí tažná mezera. U hlubokého tažení, zejména při tažení plechů větších tloušťek, může docházet ke zvlnění příruby. Princip technologie tažení s přidržovačem je popsán na obrázku 9.



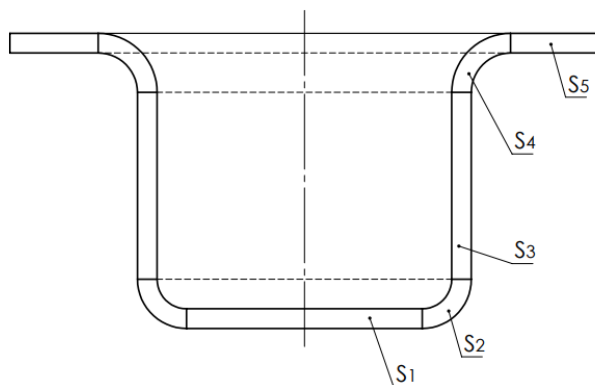
Obr. 9 Schéma deformací a napětí u tažení s přidržovačem [17]

Druhy a velikosti napjatosti se v různých místech mění, viz obr. 9. Ve dně výtažku (A) působí rovinná napjatost, která zapříčiní prostorovou deformaci. V přechodu válcové části výtažku do dna (B) působí nestejnorodá napjatost, která zapříčiní prodloužení a ztenčení. Na poloměru zaoblení (D), dochází ke vzniku složité deformace, která je způsobena vysokým radiálním tahovým napětím a malým tangenciálním tlakovým napětím. V přírubě výtažku (E) vzniká prostorová napjatost působením přidržovače.

2.1 Velikost přístřihu [5], [6], [15], [18], [19]

Při stanovování rozměru přístřihu je nutné dbát na kvalitu a ekonomiku procesu tažení. S ohledem na anizotropii materiálu a cípatost výtažku vzniká zvlněný okraj, který se následně odštěpuje. Velikost navýšení je závislé na počtu operací, při jednooperačním tažení se průměr polotovaru zvětšuje o 3 % a při každém další operaci o 1 %. V případě nadměrného polotovaru, vzniká po jeho odštěpení velký přebytečný odpad. Naopak u příliš malého přístřihu vzniká riziko vytvoření zmetků, kupříkladu z důvodu nedostatečné výšky stěny. Velikost přístřihu lze určit následujícími variantami:

- ❖ Zákon zachování plochy materiálu – plocha výtažku je stejná jako plocha výchozího přístřihu. Spočívá v rozdělení výtažku na části tvarově jednoduché (obr. 10), u kterých se následně spočítá plocha, které se následně sečtou. Tato metoda se užívá za předpokladu, že tloušťka plechu při tažení zůstává stejná.



Obr. 10 Rozdělení výtažku [18]

$$S_p = S_v \quad (2.1)$$

$$S_v = \sum_{i=1}^n S_i \text{ [mm}^2\text{]} \quad (2.2)$$

kde: S_p – plocha výtažku [mm²]

S_v – plocha přístřihu [mm²]

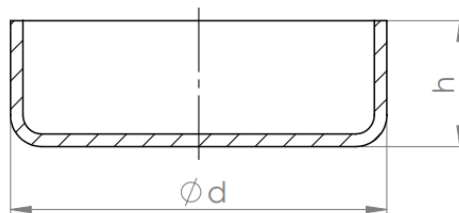
S_i – elementární plochy výtažku [mm²]

Součet těchto ploch se následně dosadí do vzorce pro výpočet průměru přístřihu:

$$D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot S_v}{\pi}} \text{ [mm]} \quad (2.3)$$

kde: D_0 – průměr přístřihu [mm]

- ❖ výpočet vzorcem – tímto způsobem lze jednoduše a rychle určit přibližnou velikost polotovaru, jelikož se neuvažuje zaoblení a prolis dna. Na obr. 11 jsou zobrazeny hlavní rozměry jednoduchého rotačního výtažku bez příruby. V příloze 1 jsou uvedeny vzorce pro různé tvary.



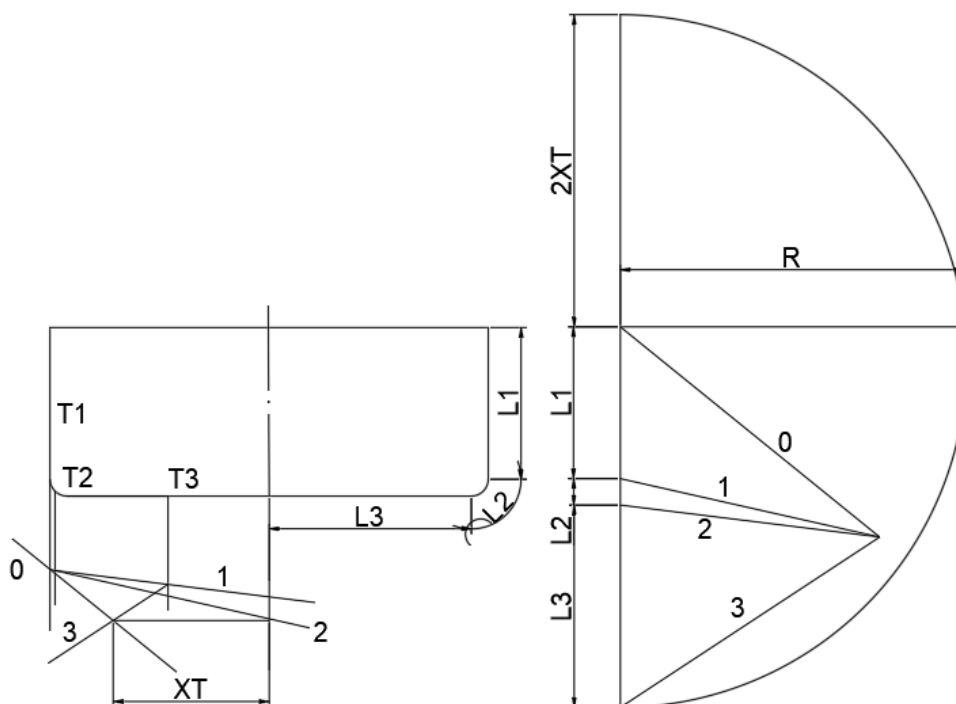
Obr. 11 Výtažek pro výpočet [19]

$$D_0 = \sqrt{d^2 + 4 \cdot d \cdot h} \text{ [mm]} \quad (2.4)$$

kde: d – průměr výtažku [mm]

h – hloubka výtažku [mm]

- ❖ grafické řešení – pomocí Guidinovy věty. Nejprve se nalezne těžiště křivky součásti paprskovou metodou. Do vláknového mnohoúhelníku je vynesena vzdálenost těžiště. Na vzniklém oblouku se zaznačí kolmá přímka R , která se rovná poloměru přístřihu. Grafické konstrukce pro jednoduchý válcový výtažek bez příruby je vyobrazena na obr. 12.



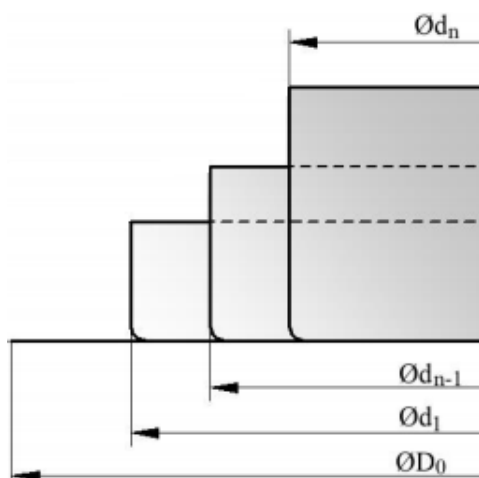
Obr. 12 Grafická řešení určení rozměrů polotovaru [6]

- ❖ Nomogram – používá se pro jednoduché válcové výtažky se známou výškou a průměrem součásti. Výchozí průměr přístřihu lze rovnou odečíst ze stupnice. Tato metoda je využívána zejména jako kontrolní po přesnějším numerickém výpočtu.
- ❖ Software – k určení správné velikosti polotovaru lze rovněž využít vhodného programu (Inventor, PAM-STAMP, Solid Works, Catia), v kterém je vytvořen model výtažku. Z modelu lze snadno odečíst potřebné fyzikální veličiny jako jsou objem, plocha, hmotnost a následně spočítat průměr rondelu. Metoda je vhodná jak pro jednoduché, tak i pro složité výtažky

2.1 Počet tažných operací [3], [5], [7], [18]

Mělké a jednoduché výtažky jsou zpravidla zhotovovány v jedné operaci, oproti tomu k tažení hlubokých a složitých součástí bývá zapotřebí, použít víceoperačního tažení (obr. 13). Počet operací, na které půjde součást zhotovit závisí zejména na tvařitelnosti materiálu, na rozměru výrobku, jeho tloušťce. Při samotném procesu je nutné být nad hodnotou meze kluzu, ale zároveň se nesmí překročit mez pevnosti v tahu, tomto bodě dochází k vyčerpání plasticity materiálu a dochází k porušení součásti.

V každé jedné tažné operaci má materiál tendenci se zpevňovat a dochází ke snižování plasticity materiálu. Pro obnovení tvařitelnosti výtažků se po 3. operaci zařazuje mezioperační tepelné zpracování, kterým je rekrystalizační žíhání, které



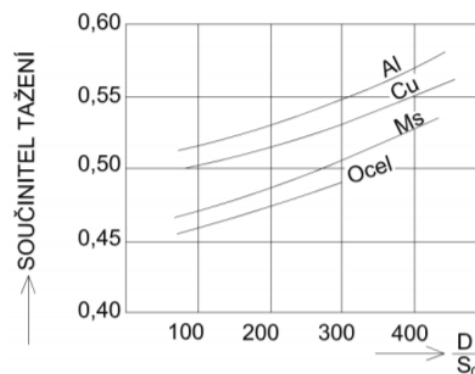
Obr. 13 Schéma víceoperačního tažení [18]

odstraní vzniklé zpevnění. Cílem je dosáhnout co nejmenšího počtu operací s co největším možným stupněm deformace. Ukazatelem stupně deformace je součinitel tažení.

Tabulka 1 Součinitele tažení pro nerezovou ocel [5]

Materiál	m_1 [-]	m_2 [-]	m_3 [-]
Nerezová ocel	0,48 ÷ 0,5	0,73 ÷ 0,75	0,76 ÷ 0,78

V tabulce 1 jsou uvedeny součinitele tažení pro jednotlivé tažné operace. Dalším způsobem, jak určit orientačně součinitel tažení je z grafu, který je zobrazen na obrázku 14. Graf znázorňuje závislost součinitele tažení na poměru D/S_0 . Tato metoda je využívána spíše jako orientační nebo kontrolní. Velikosti součinitelů závisí na tvářeném materiálu, poměrné tloušťce a zaoblení tažných hran. Součinitele tažení se vyjadřují poměry:



Obr. 14 Grafické znázornění součinitele tažení [7]

Součinitel tažení pro první tah:

$$m_1 = \frac{d_1}{D_0} [-]$$

kde: d_1 – průměr výtažku po první operaci [mm]

Součinitel tažení pro následující tahy:

$$m_n = \frac{d_n}{d_{n-1}} [-]$$

kde: d_n – průměr výtažku po n-té operaci [mm]

Celkový součinitel tažení:

$$m_c = m_1 \cdot m_2 \cdot m_{n-1} \cdot m_n [-]$$

Celkový počet tažných operací:

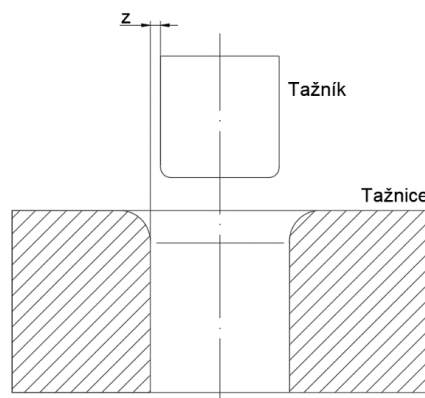
$$n = 1 + \frac{\ln(d_n) - \ln(m_1 \cdot D_0)}{\ln(m_s)} [-]$$

kde: m_s – střední součinitel tažení $\approx (0,75 \div 0,85)$ [-]

Vyjde-li $n < 1,2$, předpokládá se zhotovení výtažku v jedné operaci. V případě, že $n > 1,2$, vytáček bude zhotoven ve dvou nebo více tažných operací a jejich počet se určí zaokrouhlením vypočtené hodnoty na nejbližší celé číslo.

2.3 Tažná mezera [3], [7], [15], [20]

Tažnou mezerou se rozumí vůle mezi tažníkem a tažnicí. Na obrázku 15 je zakótována tažná mezera „z“. Při tažení bez ztenčení stěny se volí tažná mezera větší, než je tloušťka plechu. Vůle musí mít ideální velikost. V případě, že je mezera malá, tak je zapotřebí větší tažná síla a dochází k zadírání a v nejzazším případě může dojít i k utržení dna. Příliš velká tažná mezera má naopak za následek zvlnění výtažku. U kalibrace může být velikost shodná s tloušťkou plechu. Tažnou mezeru lze určit následujícími způsoby:



Obr. 15 Tažná mezera [3]

- Norma ČSN 22 7301 stanovuje velikost tažné mezery v závislosti na tloušťce plechu takto:

- Pro první operaci:

$$z = (1,2 \div 1,3) \cdot s \text{ [mm]} \quad (2.9)$$

kde: s – tloušťka plechu [mm]

- Pro následující operace:

$$z = (1,1 \div 1,2) \cdot s \text{ [mm]} \quad (2.10)$$

- Dle Oehlerova vztahu:

$$z = s_{\max} + k \cdot \sqrt{10 \cdot s} \text{ [mm]} \quad (2.11)$$

kde: s_{\max} – maximální tloušťka plechu [mm]

k – materiálový součinitel [-] (součinitel se volí 0,07 pro ocel)

- Dle literatury – hodnoty tažných mezer v závislosti na tloušťce plechu jsou uvedeny v tabulce 2

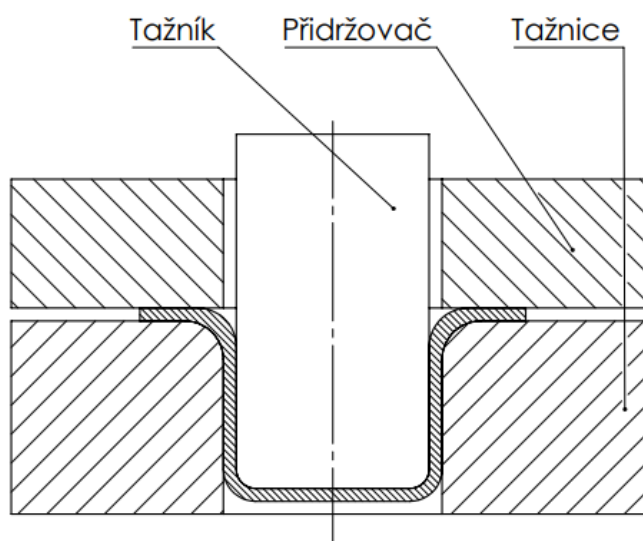
Tabulka 2 Doporučené hodnoty tažných mezer [20]

Tloušťka plechu [mm]	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,5	2	3
Tažná mezera [mm]	0,45	0,65	0,9	1,2	1,4	1,75	2,4	3,5

2.4 Volba přidržovače [2], [3], [5], [15]

V přírubě výtažku má plech tendenci se zvlnit. Tento jev lze minimalizovat přidržovací silou, která je vyvozena pomocí přidavného zařízení – přidržovače. Jestli použít přidržovač nebo táhnout bez přidržovače vyplývá z empirických vztahů ověřených praxí. Hlubokotažné plechy s tloušťkou do 0,5 mm se vždy táhnou s přidržovačem. Naopak při tažení mělkých výtažků o malé výšce z tlustého plechu se zpravidla nepoužívá.

V případě použití přidržovače (obr. 16) je nutné znát optimální velikost měrného tlaku, který závisí především na tloušťce tvářeného plechu, součiniteli tažení a jakosti plechu. Při nedostatečném tlaku přidržovače by docházelo k zvlnění na přírubě. V opačném případě, by příliš velký tlak způsobil tření a zabránil by plynulému vtahování přístřihu do tažnice.



Obr. 16 Tažení s přidržovačem [15]

Výpočet potřeby přidržovače je možný podle několika způsobů:

- Norma ČSN 22 7301 – určuje potřebu použití přidržovače podle koeficientu.

$$\alpha = 50 \cdot \left(z_m - \frac{\sqrt{s}}{\sqrt{D_0}} \right) [-] \quad (2.12)$$

kde: z_m – materiálová konstanta [-] (pro hlubokotažnou ocel $z_m = 1,9$)

$$\text{Vyjde-li } \alpha \geq \frac{100 \cdot d}{D_0} - \text{je přidržovač nutný} \quad (2.13)$$

Při víceoperačním tažení při každé další operaci je nutné přidržovač použít pokud je splněna podmínka $\frac{d_n}{d_{n-1}} < 0,9$ (2.14)

$$\text{Vyjde-li } \alpha < \frac{100 \cdot d}{D_0} - \text{lze táhnout bez přidržovače} \quad (2.15)$$

- Dle Freidlinga z poměrné tloušťky:

$$\Delta s = \left(\frac{s}{D_0} \right) \cdot 100 [-] \quad (2.16)$$

Pokud: $\Delta s < 1,5$ – je nutno použití přidržovače

$\Delta s > 2$ – přidržovač není nutný

$1,5 < \Delta s < 2$ – daný způsob je třeba ověřit

- Způsob podle Šofmana vychází z podmínky:

$$D_0 - d \leq 18 \cdot s \quad (2.17)$$

Je-li podmínka splněna, je možné táhnout bez přidržovače

2.5 Výpočet síly a práce [2], [7], [15], [21]

Aby bylo dosaženo požadované tvaru součásti, je třeba na něj působit optimální silou tzv. tažnou silou. Protože v průběhu tažení dochází ke změně tahového napětí, dochází i ke změně tažné síly. Na obrázku 17 je znázorněn průběh tažné síly v závislosti na dráze tažníku.

Tažná síla se určuje buď způsobem teoretickým, nebo praktickým. U praktického výpočtu se stanovuje kritická síla pro utržení dna, která se nesmí překročit. Z toho vyplývá, že tažná síla musí být menší než kritická síla. Výpočet kritické síly na utržení dna je vyjádřen následujícím vzorcem:

$$F_k = \pi \cdot d \cdot s \cdot R_m \text{ [N]} \quad (2.18)$$

kde: R_m – mez pevnosti materiálu [MPa]

Skutečná tažná síla je vždy menší. Ve výpočtu této síly je zohledněn součinitel vyjadřující vliv součinitele tažení s přehlédnutím k poměrné tloušťce:

$$F_t = C \cdot \pi \cdot d \cdot s \cdot R_m \text{ [N]} \quad (2.19)$$

kde: C – součinitel vyjadřující vliv součinitele tažení s přehlédnutím k poměrné tloušťce, hodnoty součinitele jsou uvedeny v tabulce 3. [-]

Tabulka 3 Vybrané hodnoty součinitele C [21]

$m = d/D_0 [-]$	0,55	0,6	0,65	0,7	0,8
$C [-]$	1,00	0,86	0,72	0,6	0,40

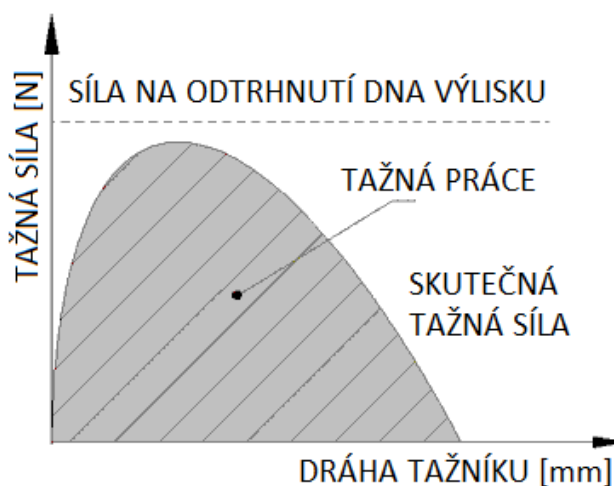
V případě nutnosti použití přidržovače, je potřeba určit velikost přidržovací síly.

$$F_p = S_c \cdot p \text{ [N]} \quad (2.20)$$

kde: S_c – plocha styku přidržovače a přístřihu [mm²]
 p – měrný tlak přidržovače [MPa], viz. tabulka 4

Tabulka 4 Doporučené hodnoty tlaků přidržovače [15]

Materiál	p [MPa]
Hlubokotažné oceli	2,0 ÷ 3,0
Nerezové oceli	2,0 ÷ 2,5
Měď	1,2 ÷ 1,8
Hliník	0,8 ÷ 1,2
Mosaz	1,5 ÷ 2,0



Obr. 17 Průběh tažné síly [2]

V praxi se volí dostatečný tlak, aby nedocházelo k zadírání a zároveň nesmí být až moc velký, protože by zabráňoval vtahování materiálu do tažnice. U dvojčinných lisů s přidržovačem je důležité nastavení co nejmenší mezery pro tloušťku plechu, aby nedošlo k zadírání příruby.

Celková síla se stanoví jako součet síly přidržovací, vyhazovací a skutečné tažné síly:

$$F_c = F_t + F_p \quad [\text{N}] \quad (2.21)$$

Tažnou práci lze určit jako velikost, která odpovídá ploše pod křivkou skutečné tažné síly (obr. 17). Zjednodušený výpočet tažné práce popisuje následující vztah:

$$A = \frac{c \cdot F_c \cdot h}{1000} \quad [\text{J}] \quad (2.22)$$

kde: c – koeficient tažné práce [-] (0,6 až 0,8)

h – hloubka výtažku [mm]

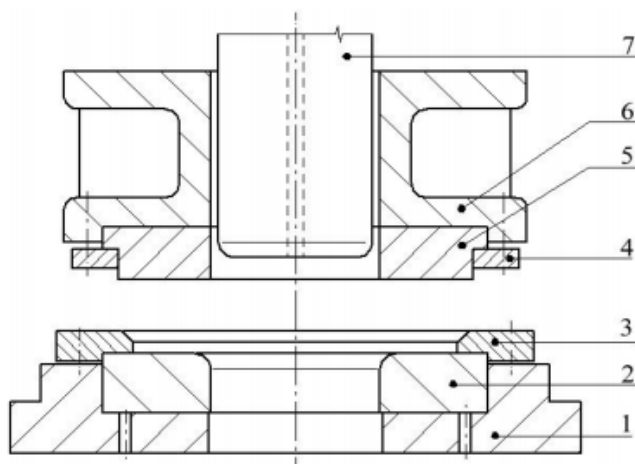
2.6 Tažné nástroje a jejich konstrukce [6], [9], [12], [16], [22]

Pomocí tažného nástroje dochází k přetvoření přístřihu ve výtažek. Pro navržení vhodného nástroje je potřeba zohlednit mnoho faktorů ovlivňující konstrukci tažidel. Řadí se mezi ně technologické parametry tažení, velikost použité deformace. Důležitým parametrem je tvářený materiál, jeho tloušťka, mechanické vlastnosti, požadovaná přesnost, kvalita a funkce finálního výtažku.

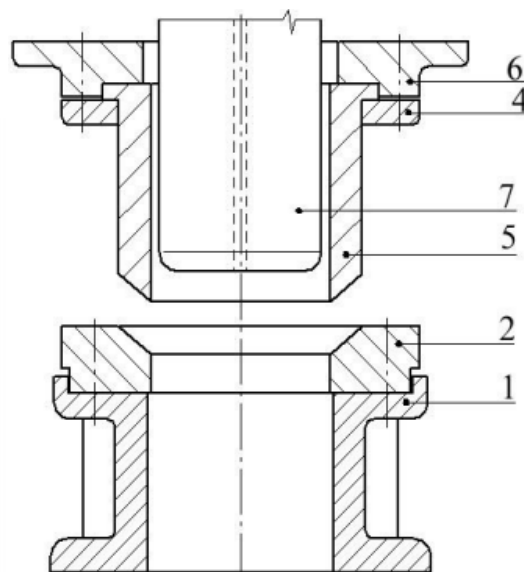
Nástroje lze dělit podle toho, na který tah se používají, a to jsou tažidla pro první tah a tažidla pro druhý a následující tah. Tažné nástroje lze rovněž rozdělit podle složitosti konstrukce na:

- jednoduché – určené pro jeden tah,
- postupové – výtažek vznikne v jednom nástroji postupně ve několika krocích,
- sdružené – umožňuje spojení několika technologií v jednom nástroji, např. tažení a stříhání,
- sloučené – umožňuje provedené více tažných operací při jednom zdvihu.

Na obr. 18 jsou zobrazeny funkční části tažného nástroje pro první tah s přidržovačem. Spodní část nástroje bývá pevně připevněna ke stolu lisu, nejčastěji se připevňují upínkami. K základové desce (1) je ukotvena tažnice (2) pomocí kolíků, šroubů, zapuštění nebo zakládacích kroužků (3). Dále jsou do základové desky zalisovány nebo přišroubovány vodící sloupky zajišťující přesné vedení nástroje. Horní část nástroje je pohyblivá. Upínací části tažníků (7) se liší podle typu stroje. Upínací kroužek (4) slouží pro připevnění přidržovače (5) k horní upínací desce pomocí šroubů a zároveň aretuje přidržovač aretuje. K upínací desce (6) je dále připevněn tažník a stopka. Upínací část tažníku se liší podle typu stroje. Stopka zajišťuje upnutí tažidla přímo do beranu lisu. Doporučené materiály jednotlivých částí tažidel jsou uvedeny v tabulce 5.



Obr. 18 Tažidlo s přidržovačem pro první tah [12]



Obr. 19 Tažidlo pro další tahy [12]

Princip tažného nástroje pro další tahy je znázorněn na obr. 19. Rozdíl oproti tažidlům pro první tah je zejména ve velikosti základové desky (3), která je výrazně vyšší. K základové desce je upnuta tažnice (4) s kuželovým náběhem a ostrou stírací hranou. Změna je rovněž ve tvaru přidržovače, který je zde dlouhý, zkosený.

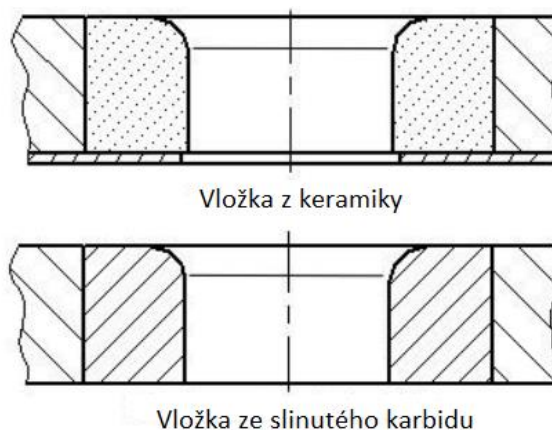
Tabulka 5 Doporučené materiály jednotlivých částí tažidel [12]

Části tažidel	Materiál	HRC
Tažník, tažnice	19 191, 19 436, 12 061, 42 2456	58 až 63
Základové a upínací desky	42 2456, 42 2661	
Zakládací a upínací kroužky	11 600	
Přidrřovače	19 191, 19 436, 42 2456	61 až 63
Stopky	11 600	
Vodící sloupky	12 020, 11 600	

Mezi nejdůležitější části tažného nástroje patří tažník, tažnice a přidržovač, které budou blíže charakterizovány a rozebrány v následujících kapitolách.

2.6.1 Tažnice [12], [13], [14], [15], [21]

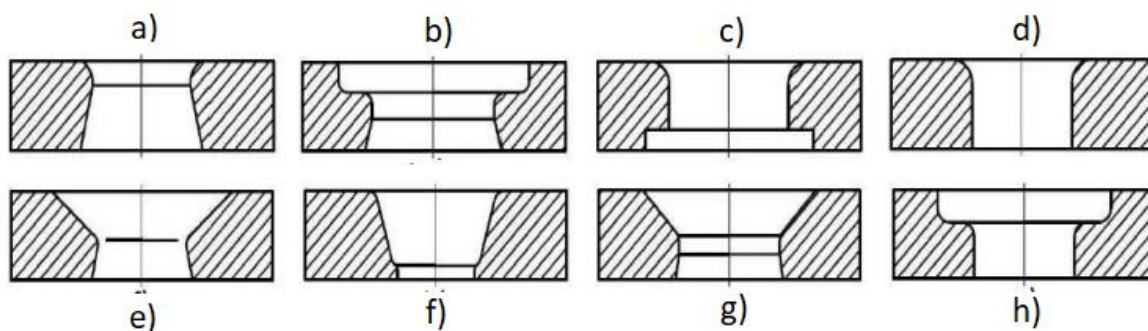
Tažnice je pevná část tažného stroje, mají prstencovitý tvar s funkčním otvorem. Jsou uloženy na H11/h11 v základové desce. Tažnice jsou vyráběny buď celistvé, nebo vložkované. Vložku je se pouze tažná hrana (obr. 20), jejich použitím dojde ke zvýšení trvanlivosti. Mezi vhodné materiály vložek patří nástrojová ocel, slinutý karbid nebo keramický materiál. Protože vložky špatně snášejí tahová napětí, zalisovávají se do tažnice s předpětím, aby nedocházelo k jejich porušení.



Obr. 20 Vložkované tažnice [15]

V průběhu tažení je materiál vtahován přes tažnou hranu. Tvar tažné hrany na největší vliv na výsledný výtažek. Na obrázku 21 jsou znázorněny různé typy otvorů v tažnicích. Jednotlivé tvary otvorů se liší, podle toho, pro jakou operaci je nástroj určen a jejich užití je následující:

- výtažek se vrací nad tažnici, kde je setřen z tažníku,
- pro druhý a případné další tahy do průměru 60 mm, součást se vrací nad tažnici,
- odlehčený každý tažný otvor ze spodní strany tažnice,
- součást propadá tažnicí, je setřena ostrou hranou,
- pro druhý a další tahy, výtažek propadá,
- pro tažení bez přidržovače, otvor kuželový, výtažek propadá,
- pro druhý a případné další tahy, výtažek se vrací nad tažnici,
- pro druhý a případné další tahy do průměru 60 mm, součást propadá skrz tažnici.



Obr. 21 Vybraná konstrukční řešení tažnic [14]

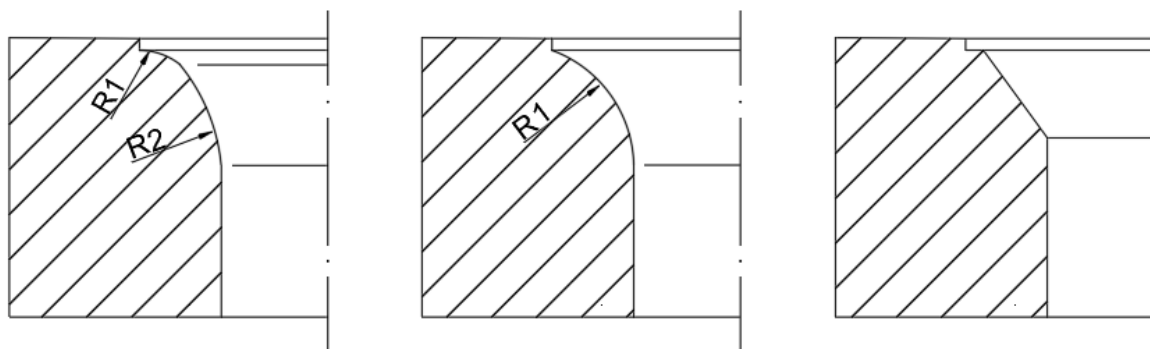
Tažení dostatečně tlustých plechů při nízkém stupni tažení není nutné použití přidržovače. U tohoto způsobu je vhodné upravit tvar tažné hrany. Nejčastější úpravy tažné hrany jsou vyobrazeny na obr. 22. Cílem těchto úprav je usnadnění vniknutí materiálu do otvoru spolu s co nejmenším odporem.

Dle normy ČSN 22 73 01 se poloměr zaoblení tažnice R_{te} pro jednooperační tažení vypočte:

$$R_{te} = (6 \div 10) \cdot s \text{ [mm]} \quad (2.23)$$

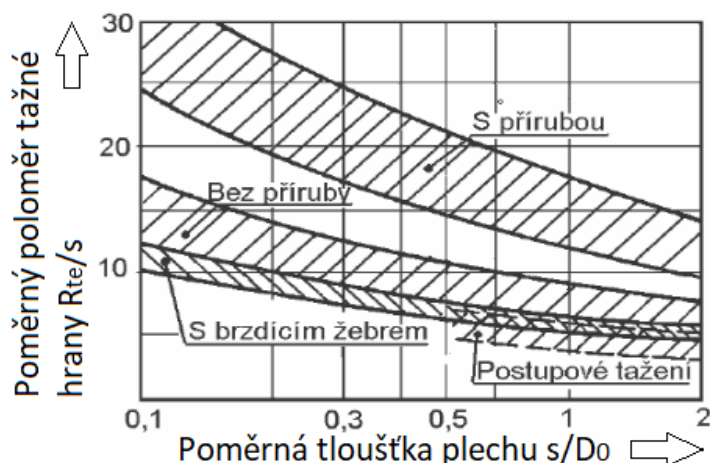
Poloměr zaoblení tažnice pro první tah:

$$R_{te} = 0,8 \cdot \sqrt{(D_0 - d) \cdot s} \text{ [mm]} \quad (2.24)$$



Obr. 22 Typy tažnic pro tažení bez přidržovače [13]

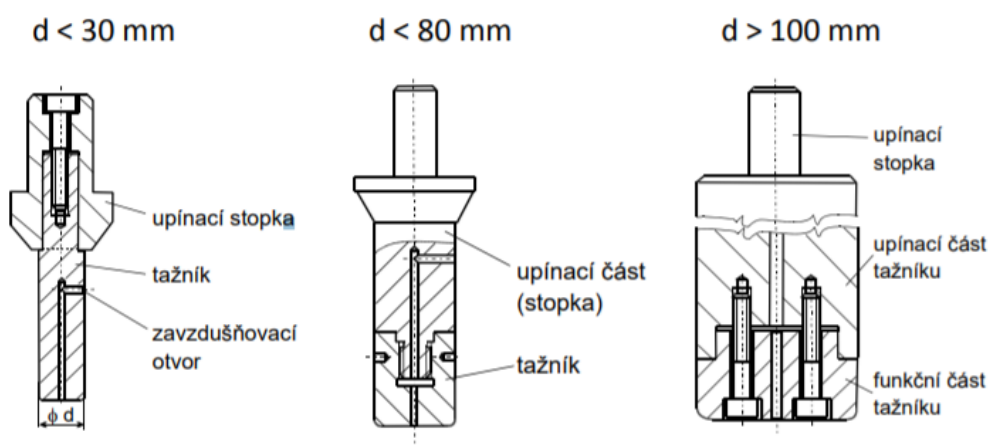
Další možností určení poloměru tažné hrany je možné pomocí grafu na obr. 23. Schopnost odečtení závisí na známosti způsobu tažení součásti a její geometrii. Za předpokladu těchto znalostí lze určit rozpětí hodnot poloměru tažné hrany, z něhož je následně vypočteno optimální zaoblení tažnice R_{te} .



Obr. 23 Graf pro stanovení zaoblení tažnice [12]

2.6.2 Tažníky [5], [7]

Jedná se o aktivní část tažného stroje, jehož vnější průměr se rovná vnitřnímu průměru výtažku. Funkčními částmi tažníků jsou čelo, poloměr zaoblení vnější hrany a válcová část. Do lisovacího stroje upnut pomocí stopky, jeho tvar a rozměry jsou normalizovány a voleny jsou s ohledem na velikost nástroje a použité stroje. Pro menší výtažky se tažníky vyrábějí celistvé. Tažníky větších průměrů jsou dělené. Pro potřebu kvality provedení a nízké ekonomické náročnosti se tažníky pro větší průměry vyrábějí jako dělené. Opotřebovávaná část jako je například vložka se vyrábí z nástrojové oceli a zbylý držák je z běžné konstrukční oceli. Vložkování se provádí buď na tažné hraně nebo v případě použití zdrsňujících vložek za účelem zvýšení na válcové části tažníku. Každého tažníku bývá součástí zavzdušňovací kanálek, který se a slouží k tomu, aby nedocházelo k tvorbě podtlaku při zpětném pohybu a výtažek neměl tendenci se k tažníku přisát. Jednotlivé konstrukce tažníků pro různé velikosti výtažků jsou zobrazeny na obr.24.



Obr. 24 Schémata konstrukcí tažníků pro různé průměry výtažků [7]

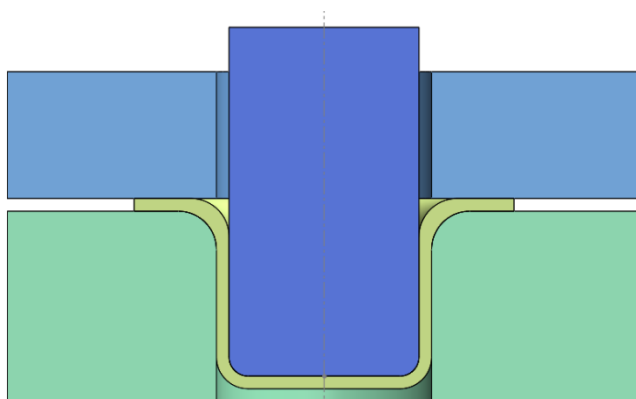
Poloměr zaoblení hran tažníku vychází z poloměru zaoblení tažné hrany tažnice a pro mezitahy se hrany tažníku upravují skosením pod úhlem $\beta = 35^\circ$ až 45° . V tabulce 6 jsou zapsány nejmenší možné hodnoty zaoblení tažníku. Je-li požadován menší poloměr zaoblení než doporučuje uvedená tabulka, je třeba zařadit kalibrační operaci.

Tabulka 6 Minimální hodnoty poloměru zaoblení tažníku R_{tu} [5]

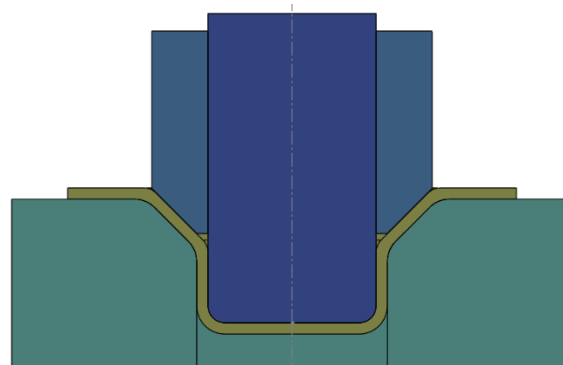
Průměr výtažku [mm]	R_{tu}
10 ÷ 100	$(3 \div 4) \cdot s$
100 ÷ 200	$(4 \div 5) \cdot s$
200 ÷ 300	$(5 \div 7) \cdot s$

2.6.3 Přidržovače [6], [15]

Přidržovač zamezuje tvoření přeložek a zvrásnění při tažení. Tvar přidržovače se odvíjí od toho, při kterém tahu je použit. Pro první tah má přidržovač tvar prstence (obr. 25). V dalších tazích se přizpůsobuje tvaru tažnice (obr 26.), přidržovací plocha bývá zkosená pod úhlem $\alpha = 35^\circ \div 45^\circ$, za účelem snížení odporu materiálu. V těchto případech přidržovač plní zároveň středící funkci, protože jeho vnější průměr je roven vnitřnímu průměru výtažku z předchozí operace.



Obr. 25 Přidržovač pro 1.tah [15]



Obr. 26 Přidržovač pro další tahy [15]

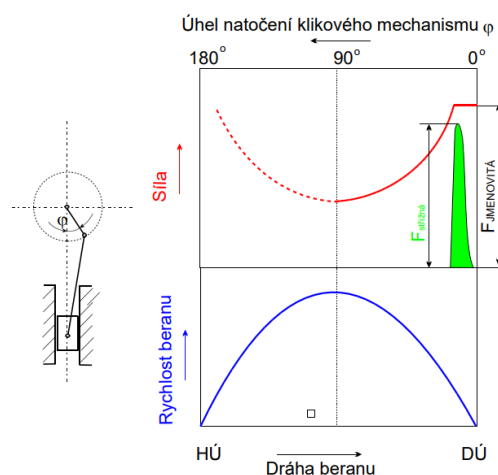
Pružinové provedení se využívá pro mělké výtažky, jejich síla je určena pružinou, tudíž se nedá měnit jejich jmenovitá síla. Pro hluboké součásti vyvíjí sílu vzduchové a hydraulické přidržovače. U dvojčinných lisů je přidržovač ovládán vlastním beranem lisu. Doporučené materiály přidržovačů jsou uvedeny v tabulce 5.

2.7 Stroje [1], [3], [10], [11*], [15],

K výrobě požadované součásti je třeba zvolit vhodný tvářecí stroj. Hlavním parametrem pro volbu lisu jeho jmenovitá síla, která určuje i velikost základních částí lisu. Podle druhu mechanismu, který zajišťuje přenos energie jsou rozděleny na mechanické a hydraulické lisy. Tažné lisy v návaznosti na jejich konstrukci lze rozdělit na:

- jednočinné – přidržovač je řešen v rámci konstrukce nástroje.
- dvojčinné – řízení přidržovače není závislé na chodu stroje.
- trojčinné – možnost ovládání přidržovače a vyhazovače samostatně. Jsou používány především pro výrobu tvarově složitých výtažků.
- postupové – pro víceoperační tažení a velkosériovou výrobu.

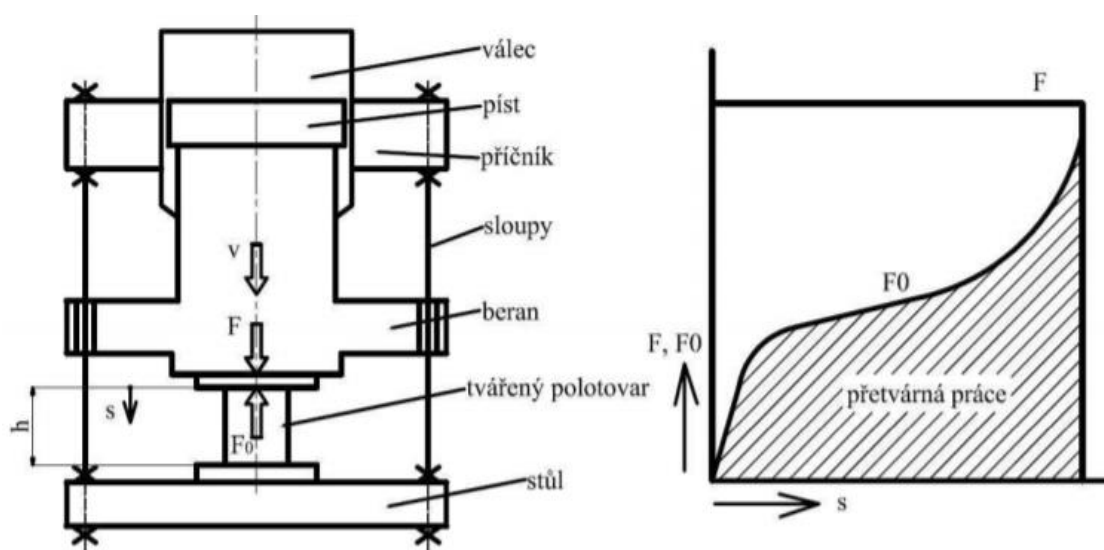
- ❖ Mechanické lisy – nepoužívanější stroje pro tvářecí operace jsou mechanické lisy. Fungují na principu klikového mechanismu, který vykonává pracovní zdvih. Vyznačují se vysokou výrobností, jednoduchostí konstrukce a nízkou pořizovací cenou oproti hydraulickým. Maximální tvářecí sílu lze odebrat až těsně před dolní úvratí. Mechanické lisy mohou být zatíženy jen takovou silou, která nepřevyšuje hodnotu jmenovité síly z důvodu možnosti přetížení. Proti případnému přetížení jsou stroje opatřeny pojistkami. Podle počtu ojníc, na kterých je zavěšeno smykadlo se vyrábějí jako jedno, dvou, tří nebo čtyřbodové.



Obr. 27 Klikový mechanismus lisu [11]

Princípem klikového mechanismu je změna otáčivého pohybu na přímočarý vratný pohyb. Průběh rychlosti v závislosti na síle a základní schéma klikového mechanismu lisu jsou zobrazeny na obr. 27.

- ❖ Hydraulické lisy – jsou typickým zástupcem tvářecího silového stroje. Pracují na základě využití Pascalova zákona, tedy rovnoměrného šíření tlaku všemi směry. Pracovní kapalinou může být zde tlakový olej nebo vodní emulze, která koluje v uzavřeném okruhu z nádržky do válce a zpět. Oproti mechanickým lisům je výhodou u hydraulických lisů rychlost beranu, možnost jejího nastavení a plynulé regulace. Mezi nevýhodami hydraulických lisů patří menší produktivita, regulace spodní úvratě zárazkou, vyšší pořizovací náklady a složitá údržba. Uspořádání hydraulického lisu a průběh tvářecích sil je na obr. 28.



Obr. 28 Uspořádání hydraulického lisu a průběh tvářecích sil [10]

2.8 Maziva pro tažení [5], [3]

Zásadní vliv na tažení, má tření mezi nástrojem a taženým materiálem. Hlavním účelem mazání je snížit tření v těchto místech na minimum. Mají pozitivní vliv na životnost nástrojů, napomáhají zachovávat povrchové vlastnosti taženého materiálu.

Mazivo se nanáší na výtažek i tažný nástroj. Musí spolehlivě přilnout na celý povrch tažené plochy a vytvořit celistvou vrstvu, která zůstane neporušena během celé tažné operace. Aby nedocházelo k vytlačování maziva z oblasti třecích ploch, nanesený film maziva musí být schopen odolávat vysokým tlakům.

Maziva bez plnidel nedávají dostatečně pevnou vrstvu a poměrně snadno se vytlačují, proto se používají při menších tlacích. Naopak maziva s obsahem plnidla zaručují správné přilnutí a odolnost vůči teplotě vzniklé třením nástroje o materiál. Používanými plnidly jsou mastek, plavená křída, uhličitán olovnatý, oxid zinečnatý, grafit. Správná volba maziva musí být přizpůsobena požadavkům tažení, stroji a zároveň odstranění tohoto maziva z povrchu výtažku by mělo být snadné a nenáročné.

Základní druhy maziva:

- kapalná – dají se rozdělit do dvou skupin, a to minerální a syntetické oleje. Syntetické oleje mají dobré mazací účinky díky jejich vlastnostem, ale jsou drahé.
- pevná – používají se formě prášků nebo šupinek.
- plastická – jsou například mazací tuky. Využívají se pro tažení při vyšší teplotě pro jednodušší tvary.

2.9 Technologičnost [4], [25]

Technologičností výroby se rozumí možnost zhotovení této součásti při nejnižších výrobních nákladech, při nejkratší výrobní době. Technologičnost závisí také na výrobních poměrech, a to především na velikosti série, zároveň je kladen důraz na dodržení technických a provozních požadavků, které jsou na vyráběnou součást kladeny.

Technologická pravidla pro konstruování výtažku:

- poloměry zaoblení přechodu mezi dnem a pláštěm nebo přírubou je vhodné volit co největší,
- zbytečně nepředepisovat rozměrovou a geometrickou přesnost, není-li to zcela nezbytné,
- nepřidávat na výšce výtažku, protože i malý přídavek znamená zvýšení počtu tahů. Čím více tahů, tím je nástroj složitější,
- volit co nejmenší možnou tloušťku plechu,
- pokud je to možné, tak se vyhnout ostrým přechodům,
- zvolit optimální materiál, který bude vyhovovat z technologické i finanční stránky.

3 NÁVRH VÝROBY

Nádoba bude vyráběna v sériové výrobě 50 000 ks/rok. Výrobní proces se skládá ze dvou hlavních operací. V první operaci je nutno vytvořit rondel. Jako nejvhodnější se jeví vyrábět přístřih z tabule nebo svitku plechu. Mezi možné varianty výroby polotovaru bylo možné uvažovat řezáním laserem, plazmou, vodním paprskem, konvenčním stříháním a stříháním kotoučovými nůžkami.

Na základě počtu kusů série, tloušťce plechu, ekonomické výhodnosti je nejvhodnější metoda stříhání. Materiál, ze kterého bude nádoba vyrobena, musí odolávat korozi a být zdravotně nezávadný, vhodný pro potravinářský průmysl. Tyto požadavky splňuje korozivzdorná ocel. Pro výrobu byla zvolena nerezová austenitická chrom-niklová ocel ČSN 10088-1 1.4301 (X5CrNi 18-10). Vyznačuje se dobrou tvařitelností, odolností vůči korozi ve vodním prostředí a kyselinám, díky tomu není zapotřebí jakýchkoliv úprav. Mechanické vlastnosti jsou uvedeny níže (tab. 7).

Tabulka 7 Mechanické vlastnosti oceli 1.4301 [26]

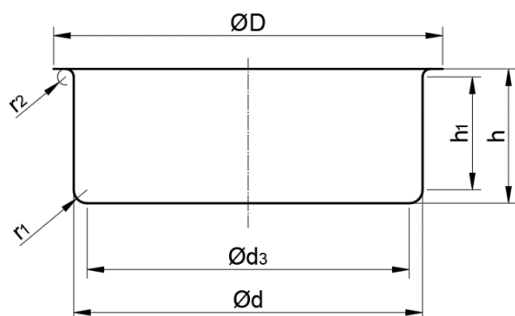
R_m [MPa]	$R_{p0,2}$ [MPa]	A' [%]	Teplota žíhání [°C]	Tvrdost [HB]
540 - 740	230	45	1000 - 1100	215

3.1 Velikost přístřihu

- Zjednodušený výpočet průměru přístřihu podle vzorce (2.3), který neuvažuje zaoblení a prolis.

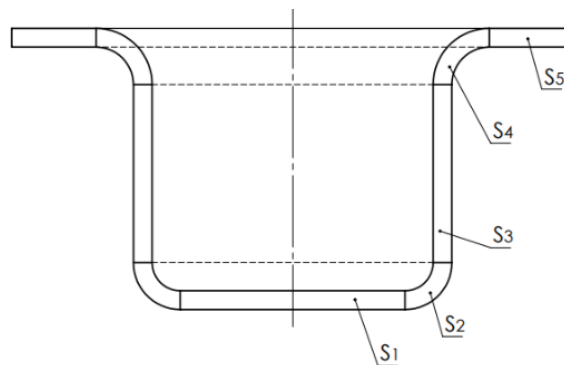
$$D_0 = \sqrt{d^2 + 4 \cdot d \cdot h} = \sqrt{520^2 + 4 \cdot 520 \cdot 200} = 828,49 \text{ mm}$$

Určení velikosti přístřihu pomocí rozdělení výtažku na jednoduché základní části. Jednotlivé části jsou zobrazeny na obr. 29. Celková plocha přístřihu se určí součtem jednotlivých ploch. Dosazením rozměrů dle obrázku 30 do vzorce 3.1 bude stanovena požadovaná velikost přístřihu.



Obr. 30 Základní rozměry součásti

$D = 580 \text{ mm}$
 $d_3 = 480 \text{ mm}$
 $d = 520 \text{ mm}$
 $h_1 = 166,5 \text{ mm}$
 $h = 200 \text{ mm}$
 $r_1 = 20 \text{ mm}$
 $r_2 = 12 \text{ mm}$



Obr. 29 Rozdělení výtažku

$$S_1 = \frac{\pi \cdot d_3^2}{4} = \frac{\pi \cdot 480^2}{4} = 180\,955,7 \text{ mm}^2$$

$$S_2 = \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot (d_3 - 2 \cdot r_1) \cdot r_1 + 4 \cdot r_1^2) = \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot (480 - 2 \cdot 20) \cdot 20 + 4 \cdot 20^2) \\ = 45\,939,5 \text{ mm}^2$$

$$S_3 = \pi \cdot d \cdot h_1 = \pi \cdot 520 \cdot 166,5 = 271\,999,1 \text{ mm}^2$$

$$S_4 = \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot (d - 2 \cdot r_2) \cdot r_2 + 4 \cdot r_2^2) = \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot (520 - 2 \cdot 12) \cdot 12 + 4 \cdot 12^2) \\ = 30\,276,7 \text{ mm}^2$$

$$S_5 = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) = \frac{\pi}{4} \cdot (580^2 - 520^2) = 51\,836,3 \text{ mm}^2$$

$$S_c = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 \\ = 180\,955,7 + 45\,939,5 + 271\,999,1 + 30\,276,7 + 51\,836,3 \\ = 581\,007,3 \text{ mm}^2$$

Průměr přístřihu dle vzorce 3.1:

$$D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot S_c}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 581\,007,3}{\pi}} = 860,01 \text{ mm}$$

Po zaokrouhlení je zvolen průměr přístřihu $D_0 = 860 \text{ mm}$.

Vypočtený průměr 860 mm pomocí rozkladu na dílčí části bude dále uvažován. Tuto hodnotu je nutno navýšit o přídavek na ostřížení. Zvětšení je závislé na počtu operací. Průměr přístřihu pro první tah se zvětšuje o 3 % a každým dalším tahem o 1 %. Aby mohl být určen finální průměr přístřihu, je nutno určit počet tažných operací:

- ❖ Nejmenší možný průměr výtažku, který je možný v dané operaci vyrobit se určuje podle vzorce (2.5):

$$d_1 = m_1 \cdot D_0 = 0,5 \cdot 860 = 430 \text{ mm}$$

Součinitel tažení „m“ byl zvolen 0,5 dle tabulky č. 3 (viz kap. 2.2). Vypočítaná hodnota 430 mm představuje nejmenší možný průměr při daném tažení. Řešenou součástku bude možné zhotovit na 1 tažnou operaci, protože její vnitřní průměr je 517 mm. Celkový počet tažných operací se spočítá podle vzorce (2.8):

$$n = 1 + \frac{\ln(d_n) - \ln(m_1 \cdot D_0)}{\ln(m_s)} = 1 + \frac{\ln 517 - \ln(0,5 \cdot 860)}{\ln 0,78} = 0,26$$

Hodnota součinitele tažení „m“ pro první tah byla zvolena 0,5 a střední součinitel „m_s“ byl zvolen 0,78. Z uvedeného výpočtu je zřejmé, že daný výtažek lze zhotovit na jednu operaci, poněvadž je splněna podmínka $n < 1,2$. (viz kap. 2.2).

Vzhledem ke známému počtu 1 tažné operace, lze k výchozímu průměru přístřihu přidat přídavek na ostřížení, a to z důvodu cípatosti na okraji výtažku. Pro jednooperační tažení se průměr navyšuje o 3 %.

$$D_v = 860 \cdot 1,03 = 885,8 \text{ mm}$$

Výsledný průměr rondelu bude 886 mm.

3.2 Nástřihový plán

Výběr vhodného nástřihového plánu zajistí co nejvýhodnější využití materiálu, u velkých sérií může významně ovlivnit výrobní cenu dílce. Vzhledem k výrobní sérii 50 000 kusů za rok, je možné uvažovat jako výchozí polotovary tabule a svitky plechu. Mezi možné varianty výroby pro kruhový tvar přístřihu lze uvažovat technologie řezáním laserem, plazmou, vodním paprskem, konvenčním stříháním a stříháním kotoučovými nůžkami.

Tabulka 8 Jednotlivé varianty

Varianta 1	Svitky	
Varianta 2	Tabule	1,5x1000x2000
Varianta 3	Tabule	1,5x1500x3000

- Varianta 1 – svitky lze objednat na míru podle požadované šířky a délky pásu. Proto z důvodů co nejoptimálnějšího uspořádání přístřihů na svitku byly zvoleny velikosti můstku „E“ a okraje „F“ (obr. 31) podle přílohy 1.

$$E = 3 \text{ mm}$$

$$F = 8 \text{ mm}$$

Výpočet šířky pásu a kroku:

$$\check{S}_p = D_0 + F = 886 + 8 = 894 \text{ mm}$$

$$K = D_0 + E = 886 + 3 = 889 \text{ mm}$$

kde: \check{S}_p – šířka pásu [mm]

K – krok [mm]

E – můstek [mm]

F – okraj [mm]

Využití materiálu:

$$\mu = \frac{S_v}{S_{t1}} \cdot 100 = \frac{\frac{\pi \cdot D_v^2}{4}}{\check{S}_p \cdot K} \cdot 100$$

$$= \frac{\frac{\pi \cdot 886^2}{4}}{894 \cdot 889} \cdot 100 = 77,6 \%$$

Celková potřebná délka svitku:

$$l_{s1} = n_s \cdot K = 50\,000 \cdot 889 = 44\,500\,000 \text{ mm} = 44\,500 \text{ m}$$

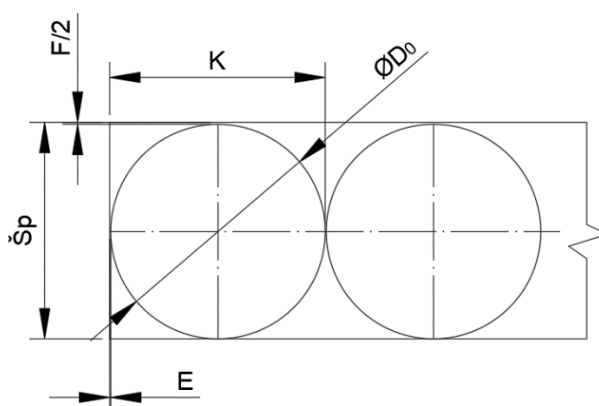
kde: n_s – počet kusů v sérii [ks]

Počet kusů na svitku:

$$n_k = \frac{L_1}{K} = \frac{22\,225}{889} = 25 \text{ ks}$$

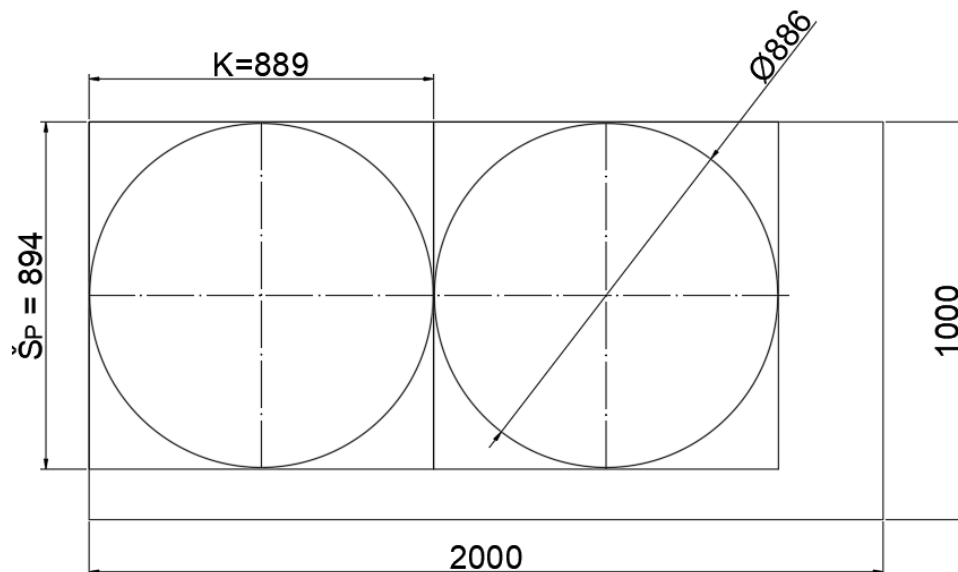
kde: L_1 – délka svitku (volně zvolena) [mm]

Výsledek je z důvodu vystřihu pouze celého přístřihu zaokrouhlen na nižší celé číslo. Příslušné tvrzení bude aplikováno i v následujících variantách.



Obr. 31 Schéma rozložení výstřižků, varianta 1

- Varianta 2 – tabule plechu o rozměrech 1,5x1000x2000. Na obrázku 32 je zobrazeno uspořádání přístřihů na tabuli, z kterého vyplývá, že tabule bude brána jako jeden pás $n_p = 1$.



Obr. 32 Schéma rozložení výstřížků, varianta 2

Počet kusů na páse:

$$n_{ks} = \frac{L_2}{K} = \frac{2000}{889} = 2,3 \text{ ks} = 2 \text{ ks}$$

kde: L_2 – délka pásu [mm]

Výsledek je z důvodu vystřížení pouze celého přístřihu zaokrouhlen na nižší celé číslo. Příslušné tvrzení bude aplikováno i v následujících variantách.

Počet kusů na jedné tabuli ve variantě 2:

$$n = n_{ks} \cdot n_p = 2 \cdot 1 = 2 \text{ ks}$$

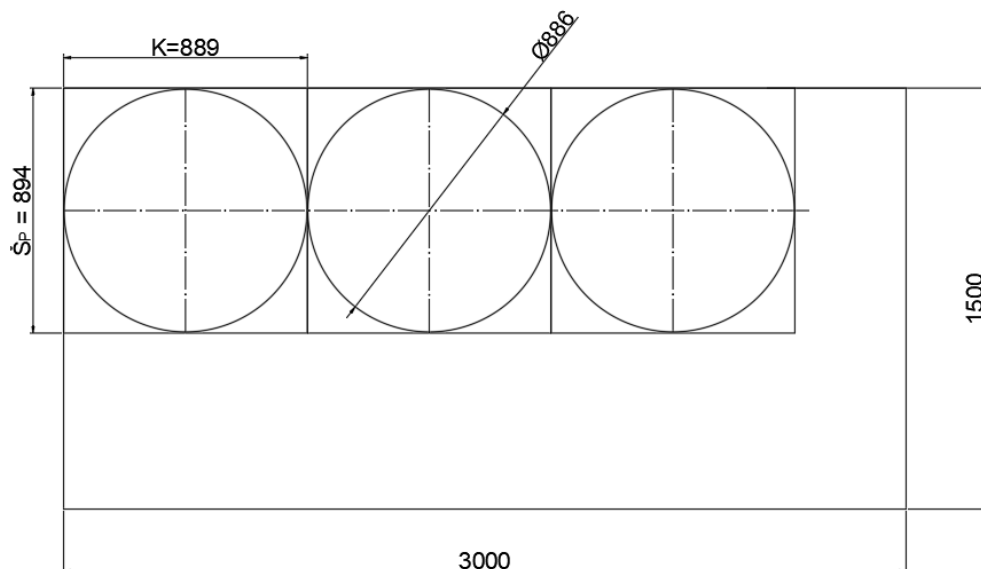
Využití materiálu:

$$\mu = \frac{n \cdot S_v}{S_{t2}} \cdot 100 = \frac{2 \cdot \frac{\pi \cdot D_v^2}{4}}{\dot{S}_2 \cdot L_2} \cdot 100 = \frac{2 \cdot \frac{\pi \cdot 886^2}{4}}{1000 \cdot 2000} \cdot 100 = 61,5 \%$$

Počet potřebných plechů pro sérii:

$$n_{t2} = \frac{n_s}{n} = \frac{50\,000}{2} = 25\,000 \text{ ks}$$

Varianta 3 – Na obrázku 33 je nakresleno uspořádání přístřihů na tabuli plechu o rozměrech 1,5x1500x3000.



Obr. 33 Schéma rozložení výstřižků, varianta 4

Počet kusů na pásu:

$$n_{ks} = \frac{L_4}{K} = \frac{3000}{889} = 3,38 \text{ ks} = 3 \text{ ks}$$

kde: L_4 – délka pásu [mm]

Z jednoho kusu pásu lze vyhotovit 3 kusy.

Počet kusů na jedné tabuli ve variantě 4:

$$n = n_{ks} \cdot n_p = 3 \cdot 1 = 3 \text{ ks}$$

Využití materiálu:

$$\mu = \frac{n \cdot S_v}{S_{t4}} \cdot 100 = \frac{3 \cdot \frac{\pi \cdot D_v^2}{4}}{\tilde{S}_4 \cdot L_4} \cdot 100 = \frac{3 \cdot \frac{\pi \cdot 886^2}{4}}{1500 \cdot 3000} \cdot 100 = 41,1 \%$$

Počet potřebných plechů pro sérii:

$$n_{t4} = \frac{n_s}{n} = \frac{50\,000}{3} = 16\,666,6 \text{ ks} = 16\,667 \text{ ks}$$

Výsledný počet tabulí je zaokrouhlen na 16 667 ks, z důvodu možného odběru pouze celých tabulí plechu.

Výsledky všech 4 výše zmíněných variant jsou zaznamenány v tabulce 9.

Tabulka 9 Porovnání jednotlivých variant

Varianty	Typ	Rozměr [mm]	Využití [%]
1	Svítek	1,5x894x22225	77,6
2	Tabule	1,5x1000x2000	61,5
3	Tabule	1,5x1500x3000	41,1

Z výše uvedeného porovnání jednotlivých variant vychází jako nejméně výhodná varianta výroby z tabule plechu o rozměru 1,5x1250x2500. Varianta 1 s využitím 77,6 % má oproti ostatním variantám největší procento využití materiálu a tím nejmenší materiálového odpadu. Takto vysoké procentuální využití je z důvodu možnosti volby šířky plechu u svitku. Je uvažována dostupnost odvíjecího a rovinacího zařízení, která jsou pro výrobní sérii 50 000 kusů nutná. Mezi výhody těchto zařízení je minimální manipulační časy s materiálem, jejich finanční náročnost je kompenzována úsporou materiálu. Z jednoho svitku bude možno vystříhnout 25 přístřihů. Na celou sérii bude použito 2000 svitků o rozměrech 1,5x894x22225 mm.

3.3 Technologické výpočty tažení

- Tažná mezera

- Norma ČSN 22 7301 stanovuje tažné mezery takto (2.9):

$$z = (1,2 \div 1,3) \cdot s = (1,2 \div 1,3) \cdot 1,5 = 1,8 \text{ až } 1,9 \text{ mm}$$

- Dle Oehlerova vztahu (2.11):

$$z = s_{max} + k \cdot \sqrt{10 \cdot s} = 1,5 + 0,07 \cdot \sqrt{10 \cdot 1,5} = 1,77 \text{ mm}$$

Tažná mezera vyšla v obou variantách podobně, její velikost bude zvolena 1,8 mm.

- Volba přidržovače

Výpočet potřeby použití přidržovače dle normy ČSN 22 730 (2.12):

$$\alpha = 50 \cdot \left(z - \frac{\sqrt{s}}{\sqrt{D_v}} \right) = 50 \cdot \left(1,9 - \frac{\sqrt{1,5}}{\sqrt{886}} \right) = 92,9$$

V případě že vyjde $\alpha \geq \frac{100 \cdot d}{D_v}$ – je přidržovač nutný

$$\frac{100 \cdot 520}{886} = 58,7$$

$92,9 \geq 58,7$ – použití přidržovače je nutné

- Výpočet síly a práce

Celková síla se skládá ze síly přidržovače a tažné síly dle kap. 2.3. Výpočet síly se počítá z kritické síly, při které dojde k utržení dna (2.18). Mez pevnosti materiálu se pohybuje v rozmezí 540 až 720 MPa. Pro zaručení bezpečného tažení bez chyb se volí maximální hodnota $R_m = 720$ MPa. Hodnoty součinitele C jsou zaneseny v tabulce 3. Pro součinitel tažení $m = 0,5$ byla zvolena velikost součinitele $C = 1$.

- Výpočet tažné síly (2.19):

$$F_t = C \cdot \pi \cdot d \cdot s \cdot R_m = 1 \cdot \pi \cdot 520 \cdot 1,5 \cdot 720 = 1\,764\,318 \text{ N}$$

Síla přidržovače je určena jako součin plochy styku přidržovače a přístřihu a jeho měrného tlaku. Měrný tlak pro korozivzdornou ocel byl zvolen 2 MPa (tab. 4).

- Výpočet přidržovací síly (2.20):

$$S_c = \frac{\pi}{4} \cdot (D_v^2 - d^2) = \frac{\pi}{4} \cdot (885^2 - 520^2) = 402\,772 \text{ mm}^2$$

$$F_p = S_c \cdot p = 402\,772 \cdot 2 = 805\,544 \text{ N}$$

- Výpočet celkové síly (2.21):

$$F_c = F_t + F_p = 1\,764\,318 + 805\,544 = 2\,569\,862 \text{ N}$$

Z důvodů bezpečnosti je celková síla zvětšena o 30 %:

$$F_c = 2\,569\,862 \cdot 1,3 = 3\,340\,820,6 \text{ N}$$

Po zaokrouhlení vyplývá, že zvolený stroj musí být schopen vyvodit sílu větší než 3341 kN.

- Tažnou práci popisuje rovnice (2.22):

Koeficient c se pohybuje v rozsahu $c = 0,6$ až $0,8$, byl zvolen $c = 0,7$.

$$A = \frac{c \cdot F_c \cdot h}{1000} = \frac{0,7 \cdot 3\,340\,820,6 \cdot 200}{1000} = 467\,714,9 \text{ J}$$

Celková práce, kterou vykoná lis v jednom zdvihu, je po zaokrouhlení 467,7 kJ.

- Poloměry zaoblení tažných hran

- Poloměr zaoblení tažnice dle normy ČSN 7301 určuje vztah (2.23):

$$R_{te} = (6 \text{ až } 10) \cdot s = 8 \cdot 1,5 = 12 \text{ mm}$$

- Poloměr zaoblení tažnice se stanovuje dle vzorce (2.24):

$$R_{te} = 0,8 \cdot \sqrt{(D_v - d) \cdot s} = 0,8 \cdot \sqrt{(885 - 520) \cdot 1,5} = 18,7 \text{ mm}$$

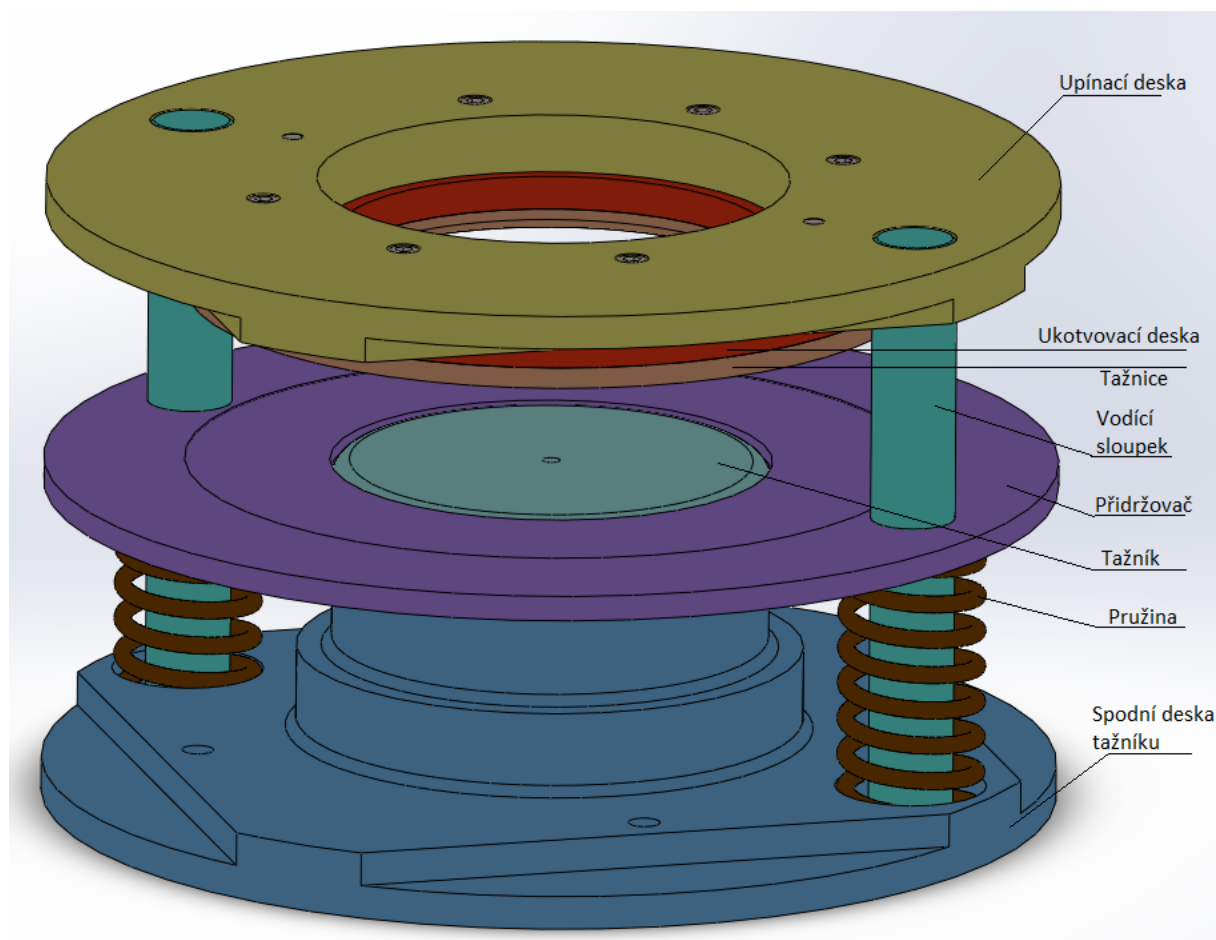
Poloměr zaoblení tažnice byl zvolen 12 mm. Z důvodů rozdílnosti výsledků, je nutné velikost zaoblení tažnice ověřit ve zkušební výrobě. Pokud bude výtažek jakkoliv poškozen, bude nutné zaoblení zvětšit.

- Poloměr zaoblení tažníku – poloměr zaoblení dna vyráběné součásti je dle výkresové dokumentace 20 mm. Aby nemusela být zařazena do technologického postupu kalibrační operace, bude poloměr zaoblení tažníku odpovídat poloměru zaoblení dna výtažku. Z toho plyne, že celý proces tažení proběhne v jedné operaci.

3.4 Návrh nástroje

Konstrukce nástroje vychází z vypočtených hodnot, konkrétně průměrem 520 mm a hloubku výtažku 200 mm. Výsledný tvar součástky je rotační s přírubou, tomu bude uzpůsoben nástroj. Výtažek bude vyroben na jednu tažnou operaci.

Kompletní model nástroje je zobrazen na obrázku 39. Sestavu nástroje lze rozdělit na dvě hlavní části, a to spodní a horní. Spodní polovinu tvoří spodní deska tažníku, ve kterém jsou vyfrézovány drážky, které slouží k ustavení nástroje pomocí upínek ke stolu lisu. Na desce jsou vyrobeny čtyři závitové díry M42, které usnadňují manipulaci s nástrojem. Ke spodní desce tažníku je šesti šrouby M20 připevněn tažník. Tělesem tažníku i spodní desky tažníku je vedena odvodušovací díra o průměru 21 mm v ose nástroje. Poloha přidržovače je ustavena pomocí dvou vodících sloupků a dvou pružin. Na upínací desce jsou stejně jako na spodní desce tažníku vyfrézovány drážky, které slouží k ustavení horní části nástroje k beranu lisu. Upínací deska, ukotvovací deska a tažnice jsou sešroubovány šesti šrouby M24, jejich vzájemná poloha je řešena pomocí dvou kolíků.



Obr. 34 Tažný nástroj

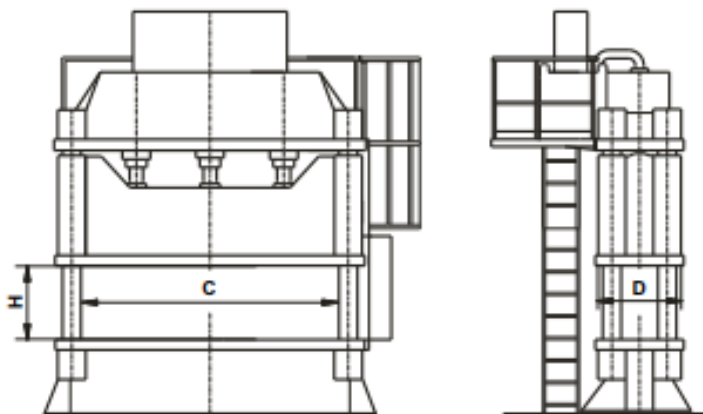
Přidržovač plní funkci základacího kroužku pomocí svého vybrání, do kterého je vložen přístřih. K materiálu sjede horní část nástroje. Pružinový vyhazovací systém začne působit protitlakem momentu styku horní a dolní části nástroje. Dochází k postupnému nabalování plechu na tažník do doby, než přidržovač dosedne na osazení tažníku. Dosednutím tažnice na přidržovač dojde ke kalibraci příruby výtažku. Současně s postupným odjetím beranu lisu do

horní úvratí, pružinový vyhadzovací systém vysouvá výtazek. Z rozevřeného nástroje lze snadno výtazek vyjmout.

3.5 Volba stroje [19]

Hlavním parametrem pro volbu stroje je velikost tažné síly. Ostatní důležitými parametry lisu jsou dostatečný zdvih beranu, rozměry stolu a beranu, samotné řešení kinematiky pohonu.

Zvoleným strojem pro výrobu nádoby bude hydraulický lis ZHS 400 (obr. 35) od firmy PRESS-hydraulika. Je zvolen kvůli konstantní rychlosti během celého zdvihu, při styku přístřihu s nástrojem nevzniká náraz, možnost nastavení optimální lisovací síly. Předností lisu je velká tuhost rámu umožňující dosahovat velkou přesnost výlisků. Dle požadavku zákazníka je možné přizpůsobit rám a tím i vnější rozměry stroje, případně ho lze vybavit zvláštních přídatných zařízení. Jeho jmenovitá síla je dostatečná k tažení nádoby. Technické parametry stroje jsou uvedeny v tabulce 10.



Obr. 35 Schéma hydraulického lisu ZHS 400 [19]

Tabulka 10 Parametry stroje ZHS 400 [19]

Lisovací síla	4000	[kN]
Zdvih beranu	700	[mm]
Přidržovací rychlost	280	[mm·s ⁻¹]
Pracovní rychlost	8 - 45	[mm·s ⁻¹]
Zpětná rychlost	260	[mm·s ⁻¹]
Stůl (beran) C x D	2000 x 1200	[mm]
Rozevření H	1000	[mm]

Standardní vybavení lisu:

- plynulá regulace lisovací síly,
- bezpečnostní moduly,
- obouruční ovládání,
- tlakový spínač a manometr,
- řídicí systém Siemens,
- regulovatelná doba lisování.

4 ZÁVĚRY

Cílem bakalářské práce bylo navržení nástroje pro výrobu zadané součásti pomocí technologie tažení. Součástka bude vyráběna z plechu z oceli 1.4301 tloušťky 1,5 mm. Plánovaná série výroby je 50 000 ks/rok.

Z uvažovaných možných variant výroby byla zvolena technologie konvenčního tažení. Byla spočtena velikost přístřihu o průměru 886 mm, bude vyroben technologií konvenčního stříhání. Podle vypočítaného průměru byl zvolen jako polotovar svitek plechu tloušťky 1,5 mm, šířce 895 mm a délce 22 000 mm. Hlavními důvody této volby bylo nejvyšší využití materiálu 72,6 % v porovnání s ostatními variantami a dostupnost odvíjecího a rovnacího zařízení.

Součást bude zhotovena na jednu tažnou operaci, což bylo ověřeno technologickými výpočty. Dále byla vypočtena celková síla potřebná pro zhotovení výtažku 3 251 kN a tažná práce 312 kJ. Vzhledem k velikosti celkové síle byl zvolen hydraulický lis ZHS 400 od firmy PRESS-hydraulika. Následně byl navržen jednooperační tažný nástroj. Výkresová dokumentace tažného nástroje, tažnice a tažníku je uvedena v příloze s výkresy.

Správnost výroby součásti bude nutné zkontrolovat ověřovací sérií.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [28]

1. NOVOTNÝ, Karel. *Výrobní stroje: Část I. - Tváření*. Brno: VUT, 1984.
2. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 5., V Akademickém nakladatelství CERM 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4747-9.
3. TIŠNOVSKÝ, Miroslav. *Hluboké tažení plechu na lisech*. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1990. Knihnice technických aktualit. ISBN 80-030-0221-4.
4. ČADA, Radek. *Technologie I*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, [2008]. ISBN 978-80-248-1507-7.
5. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: Plošné a objemové tváření*. Vyd. 2. Brno: PC-DIR Real, 1999. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-1481-2.
6. ČADA, Radek. *Postup údržby I*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, [2008]. ISBN 978-80-248-1506-0.
7. FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. Vyd. 2., v Akademickém nakladatelství CERM 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2764-7.
8. TSCHATSCH, Heinz. *Metal forming practise: processes - machines - tools*. New York: Springer Verlag, 2006. ISBN 35-403-3216-2.
9. BOLJANOVIC, Vukota. *Sheet metal forming processes and die design*. New York: Industrial Press, 2004. ISBN 08-311-3182-9.
10. *Technologie II: Technologie tváření kovů* [online]. TECHNICKÁ UNIVERZITA LIBEREC, 2005 [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/01.html
11. *Podklady pro cvičení* [online]. Brno: VUT [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/studium/index.php?stranka=podklady>
12. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
13. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. 1992. Brno: Vysoké učení technické, 1992. ISBN 80-214-0401-9.
14. *Technologie: obor nástrojář* [online]. Opava: Sst. Opava, 2007 [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <http://sst.opava.cz/technologie/technologie.pdf>
15. KOTOUČ, Jiří. *Tvářecí nástroje*. Praha: České vysoké učení technické, 1993. ISBN 80-010-1003-1.

16. *Technologie II: Technologie plošného tváření - tažení* [online]. 2005 [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/09.html>
17. LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření*. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 978-80-721-579-6
18. HOSFORD, William F. a Robert M. CADDEL. *Metal Forming: Mechanics and Metalurgy*. 3th ed. New York: Cambridge University Press, 2007. 365 s. ISBN 978-0-521-88121-0.
19. *Hydraulické lisy: Řada ZHS* [online]. Presshydraulika [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <http://www.presshydraulika.cz/produkty/hydraulicke-lisy/hlubokotazne/rada-zhs>
20. ODEHNAL, Josef. *Hluboké tažení*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1963.
21. *Výrobní stroje a zařízení* [online]. Brno: VUT, 2002 [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/vyrobní_stroje_a_zarizeni__novotny.pdf
22. NOVOTNÝ, Karel. *Speciální technologie I Plošné a objemové tváření*. Brno: VUT, 1992. ISBN 80-214-0404-3
23. *Lisování: Tažení* [online]. 2019 [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/116063668-Lisovani-tazeni.html>
24. *Stroj na cukrovou vatu* [online]. Expondo [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://www.expondo.cz/royal-catering-stroj-na-cukrovou-vatu-62-cm-uslechtila-ocel-10010548>
25. BAREŠ, Karel. *Lisování: Lisování*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1971.
26. World steel prices [online]. [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: <http://www.worldsteelprices.com/>
27. *Hydroforming process* [online]. Jones Metal Products [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://www.jmpforming.com/hydroforming/hydroforming-process.html>
28. CitacePro [online]. [cit. 2021-05-18]. Dostupné z: <https://www.citacepro.com/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A	Tažná práce	[J]
A'	Tažnost	[%]
C	Součinitel vyjadřující vliv součinitele tažení	[–]
c	Koeficient tažné práce	[–]
D ₀	Průměr přístřihu	[mm]
d	Průměr výtažku	[mm]
E	Mústek	[mm]
F	Okraj	[mm]
F _c	Celková síla	[N]
F _k	Kritická síla	[N]
F _p	Přidržovací síla	[N]
F _t	Tažná síla	[N]
h	Hloubka výtažku	[mm]
K	Krok	[mm]
L ₁	Délka svitku	[mm]
L ₂	Délka pásu varianta 2	[mm]
L ₃	Délka pásu varianta 3	[mm]
L ₄	Délka pásu varianta 4	[mm]
l _{s1}	Potřebná délka svitku	[mm]
m	Součinitel tažení	[–]
n	Celkový počet tažných operací	[–]
n _k	Počet kusů na svitku	[ks]
n _{ks}	Počet kusů na páse	[ks]
n _s	Počet kusů v sérii	[ks]
p	Měrný tlak přidržovače	[MPa]
R _m	Mez pevnosti v tahu	[MPa]
R _{p0,2}	Smluvní mez kluzu	[MPa]
R _{te}	Poloměr zaoblení tažnice	[mm]
R _{tu}	Poloměr zaoblení tažníku	[mm]
S _i	Elementární plochy výtažku	[mm ²]
S _c	Plocha styku přidržovače a přístřihu	[mm ²]
S _p	Plocha přístřihu	[mm ²]
S _v	Plocha výtažku	[mm ²]
s	Tloušťka plechu	[mm]
s _{max}	Maximální tloušťka plechu	[mm]
Š _p	Šířka pásu	[mm]
z	Tažná mezera	[mm]
z _m	Materiálová konstanta	[–]
α	Součinitel použití přidržovače	[–]
μ	Součinitel využití materiálu	[–]
τ _s	Mez pevnosti ve stříhu	[MPa]
Δs	Poměrná tloušťka	[–]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Příklady součástí vyrobených technologií tažení	9
Obr. 2 Stroj na výrobu cukrové vaty	10
Obr. 3 Model součásti.....	10
Obr. 4 Výkres součásti.....	10
Obr. 5 Princip kovotlačení.....	11
Obr. 6 Metoda Marform	11
Obr. 7 Metoda Hydroform.....	12
Obr. 8 Konvenční tažení.....	12
Obr. 9 Schéma deformací a napětí u tažení s přidržovačem	13
Obr. 10 Rozdělení výtažku	14
Obr. 11 Výtažek pro výpočet.....	14
Obr. 12 Grafická řešení určení rozměrů polotovaru.....	15
Obr. 13 Schéma víceoperačního tažení	15
Obr. 14 Grafické znázornění součinitele tažení.....	16
Obr. 15 Tažná mezera.....	17
Obr. 16 Tažení s přidržovačem.....	18
Obr. 17 Průběh tažné síly	19
Obr. 18 Tažidlo s přidržovačem pro první ta.....	21
Obr. 19 Tažidlo pro další tahy	21
Obr. 20 Vložkované tažnice	21
Obr. 21 Vybraná konstrukční řešení tažnic	22
Obr. 22 Typy tažnic pro tažení bez přidržovače.....	22
Obr. 23 Graf pro stanovení zaoblení tažnice	23
Obr. 24 Schémata konstrukcí tažníků pro různé průměry výtažků	23
Obr. 25 Přidržovač pro 1.tah	24
Obr. 26 Přidržovač pro další tahy	24
Obr. 27 Klikový mechanismus lisu	25
Obr. 28 Uspořádání hydraulického lisu a průběh tvářecích sil.....	25
Obr. 29 Rozdělení výtažku	27
Obr. 30 Základní rozměry součásti.....	27
Obr. 31 Schéma rozložení výstřižků, varianta 1	29
Obr. 32 Schéma rozložení výstřižků, varianta 2.....	30
Obr. 34 Schéma rozložení výstřižků, varianta 4.....	31
Obr. 35 Tažný nástroj	34
Obr. 36 Schéma hydraulického lisu ZHS 400	35

SEZNAM TABULEK


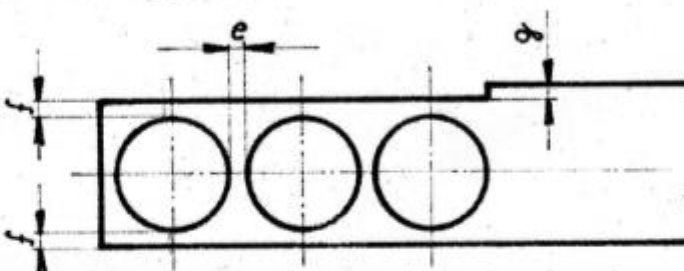
Tabulka 1 Součinitele tažení pro nerezovou ocel	16
Tabulka 2 Doporučené hodnoty tažných mezer	17
Tabulka 3 Vybrané hodnoty součinitele.....	19
Tabulka 4 Doporučené hodnoty tlaků přidržovače.....	19
Tabulka 5 Doporučené materiály jednotlivých částí tažidel	21
Tabulka 6 Minimální hodnoty poloměru zaoblení tažníku Rtu.....	24
Tabulka 7 Mechanické vlastno oceli 1.4301	27
Tabulka 8 Jednotlivé varianty.....	29
Tabulka 9 Porovnání jednotlivých variant.....	31
Tabulka 10 Parametry stroje ZHS 400	35

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Směrnice pro stanovení šířky odpadu

SEZNAM VÝKRESŮ

Tažný nástroj	BP_2021_00
Spodní deska tažníku	BP_2021_02
Tažnice	BP_2021_03
Tažník	BP_2021_04

 NAŘ KOŘ-KL	SMĚRNICE PRO STANOVENÍ ŠÍŘKY ODPADU	415 - 06 - 205										
Výpis z ON 22 6032 Počet stran 3												
												
Tl. mat.	Šířka pásu											
	do 15		15+50		50+100		100+200		200+300		300+400	
	e	f	e	f	e	f	e	f	e	f	e	f
0,1+0,9	1	1,2	1,3	1,6	1,6	2	2	2,5				
1	1	1,2	1,3	1,6	1,6	2	2	3,8	2,5	5,2	3	6,6
1,3	1,1	1,4	1,6	2	2,1	2,5	3,1	3,8	4	5,3	5	6,7
1,5	1,2	1,5	1,7	2,2	2,2	2,7	3,2	4	4,3	5,4	5,4	6,8
1,8	1,4	1,8	1,8	2,2	2,3	2,8	3,3	4,2	4,4	5,6	5,5	7
2	1,5	2	2	2,5	2,5	3,1	3,5	4,5	4,5	5,8	5,7	7,2
2,2	1,6	2	2,2	2,7	2,6	3,2	3,6	4,5	4,6	6	5,8	7,3
2,5	1,7	2,2	2,3	2,8	2,7	3,4	3,7	4,7	4,7	6	5,8	7,4
2,8	1,8	2,2	2,4	3	2,8	3,5	3,8	4,7	5	6,2	6	7,5
3	2	2,5	2,5	3	3	3,7	4	5	5	6,3	6,2	7,7
3,5			2,7	3,5	3,2	4	4,2	5,2	5,2	6,5	6,3	8
4			3	3,8	3,5	4,3	4,5	5,6	5,6	6,8	6,5	8,2
4,5			3,2	4	3,7	4,6	4,7	5,8	5,7	7,2	6,8	8,7
5			3,5	4,2	4	5	5	6,2	6	7,7	7	9,2

Tloušťka mat.	do 1	1,1+1,3	1,4+1,5	1,6+1,8	1,9+2
g	1,5	1,8	2	2,2	2,5

Rozměry uvedené v tabulkách platí pro kovy.
 Pro hmoty měkké (chrom. kůže, textil, azbest) použít
 dvojnásobné hodnoty e; f. Rozměr g zvětšit 1,5 krát.

Kreslil	Přezkoušel	Schválil	
<i>Brach</i>	<i>ky Pankr</i>	<i>Što</i>	Platí od 1.4.1981